

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

Étude de l'impact de la dyschromatopsie sur la conception d'interfaces utilisateurs

Keil, Laurent

Award date:
2016

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

UNIVERSITÉ DE NAMUR
Faculté d'informatique
Année académique 2015-2016

**Étude de l'impact de la dyschromatopsie sur
la conception d'interfaces utilisateurs**

Laurent KEIL



Maître de stage : Benoît VANDEROSE

Promoteur : _____ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)
Naji HABRA

Co-promoteur : Benoît VANDEROSE

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

Résumé

Depuis de nombreuses années, des recherches ont été effectuées en vue d'améliorer la qualité logicielle. Les contraintes d'accessibilité sont un des obstacles à cette qualité dont l'évaluation est nécessaire afin de permettre un accès universel à l'information. La finalité de ce travail, dans une première phase, est d'étudier l'influence du daltonisme sur l'expérience utilisateur. La seconde étape consiste à faire un bilan de différentes approches de conception contribuant à répondre au besoin. Différentes catégories de situations problématiques ont été identifiées et reproduites de manière à concrétiser de telles solutions d'assistance. Finalement, les expériences menées ont permis de mettre en évidence l'intérêt et les limites de chacune, dans le but d'établir un processus composé d'un ensemble de bonnes pratiques ergonomiques adaptées.

Mots clés : accessibilité, daltonisme, expérience utilisateur, ergonomie, conception d'interfaces utilisateurs.

Abstract

For many years, research has been conducted to improve software quality. Accessibility difficulties are among the major issues that have to be measured to allow universal access to information. The purpose of this work, in a first step, is to study how color blindness affects the user experience. The second step focuses on the different design approaches that contribute to meet the requirements. Several kind of problematic situations have been identified and reproduced, so as to implement these solutions. Finally, the experiments carried out helped to highlight the benefits and limitations for each of them, in order to build a process including a set of adapted ergonomic best practices.

Keywords : accessibility, color blindness, user experience, human factors engineering, user interface design.

Avant-propos

Je souhaite témoigner toute ma reconnaissance à l'égard des personnes qui m'ont permis, directement ou indirectement, de réaliser ce travail.

Ce mémoire est l'aboutissement de plusieurs mois de travail et d'un stage au sein du projet de recherche Visionary. J'aimerais tout d'abord remercier l'ensemble de l'équipe, dont Alexandre Plennevaux et Remy Saint Cricq, pour leur sympathie et leur partage de connaissances.

Mes remerciements s'adressent tout particulièrement à Benoît Vanderose, qui m'a guidé à la fois pendant mon stage, et par la suite lors de l'écriture de ce mémoire.

Je remercie également le promoteur de mon mémoire, Monsieur Naji Habra, pour m'avoir permis de réaliser ce travail, et l'ensemble des personnes qui m'ont accueilli au sein de la faculté.

Je tiens également à remercier toutes les personnes ayant accepté de participer aux expériences effectuées dans ce travail.

Enfin, mes remerciements vont à l'ensemble de mon entourage, qui m'a soutenu au cours de la réalisation de ce mémoire.

Table des matières

Table des figures	VI
Glossaire	XII
Acronymes	XIV
1 Introduction	1
1.1 Problématique	1
1.2 Approche	2
1.3 Méthodologie	3
I État de l’art	5
2 Compréhension du daltonisme	7
2.1 Définition générale	7
2.2 Causes	7
2.3 Types de déficiences de la vision des couleurs	10
2.4 Impacts	11
2.5 Tests de dépistage	14
2.6 Solutions	16
3 Répercussions sur l’interaction homme-machine	17
3.1 Contexte et motivation	17
3.2 De l’utilisabilité à l’expérience utilisateur	18
3.3 Psychologie cognitive	24
3.4 Accessibilité	25
3.5 Impacts	26
4 Méthodologie de conception d’interfaces	29
4.1 Processus et activités générales	29
4.2 Activités de l’étape d’analyse	32
4.3 Activités de l’étape de conception	38
4.4 Activités de l’étape de prototypage	44
4.5 Activités de l’étape d’évaluation	46
4.6 Limites	52

II	Contribution	53
5	Adaptation de la méthodologie	55
5.1	Approche	55
5.2	Méthodes d'analyse	57
5.3	Méthodes de conception	61
5.4	Méthodes de prototypage	72
5.5	Méthodes d'évaluation	73
6	Préparation des expérimentations	79
6.1	Objectif	79
6.2	Inventaire et classification des problèmes	79
6.3	Outils d'assistance	83
6.4	Protocole expérimental	87
7	Résultats et interprétations	91
7.1	Observations générales	91
7.2	Analyse des résultats pour chaque cas d'étude	92
7.3	Analyse comparative	96
8	Limites	103
8.1	Influences des contraintes liées aux participants	103
8.2	Menaces provenant du matériel et de l'environnement	104
8.3	Biais de la conception	106
8.4	Validité statistique	107
9	Conclusion	109
9.1	Bilan	109
9.2	Réponses et limites	109
9.3	Perspectives	110
	Bibliographie	113
	Annexes	117
A	Problèmes divers relatifs à la dyschromatopsie dans la vie quotidienne	119
B	Analyse des différents tests de dépistage du daltonisme	121
C	Interfaces problématiques pour les daltoniens (expériences 1 et 4)	125
D	Interfaces conçues pour les expérimentations (expériences 2 et 3)	131
E	Résultats des tests utilisateurs	141

Table des figures

2.1	Les longueurs d'ondes de la lumière [Elias et Lafait, 2006, p.280]	7
2.2	Absorption et réflexion des couleurs [McIntyre, 2002, p.12]	7
2.3	Synthèse additive des couleurs	8
2.4	Synthèse soustractive des couleurs	8
2.5	Le système de Munsell [Dordet, 1990, p.77]	8
2.6	Les 3 dimensions du modèle HSL	8
2.7	La structure de l'oeil [Malacara, 2011, p.41]	9
2.8	Les photorécepteurs : cônes et bâtonnets [Malacara, 2011, p.47]	9
2.9	Les longueurs d'ondes LMS [Malacara, 2011, p.53]	10
2.10	Modification de la sensibilité des longueurs d'ondes due à la dyschromatopsie [Dordet, 1990, p.14]	10
2.11	Diagramme de chromaticité (x,y) de la CIE [Malacara, 2011, p.88]	11
2.12	Lignes de confusion, de gauche à droite, des protanopes, deuteranopes et tritanopes [Malacara, 2011, p.149]	12
2.13	Visions normale et simulées du spectre des couleurs visibles	12
2.14	Ensemble de fruits censés être distinguables par la couleur	13
2.15	Simulation deuteranope du même ensemble de fruits	13
2.16	Plaque d'Ishihara [Ishihara, 2000]	15
2.17	Simulation protanope d'une plaque d'Ishihara avec l'outil Sim Daltonism	15
2.18	Le test de classement FM100 [McIntyre, 2002, p.121]	15
2.19	L'anomaloscope [McIntyre, 2002, p.121]	15
3.1	Le modèle de qualité ISO 9126 [Ince, 1994, p.280]	18
3.2	Comparaison des critères des modèles de McCall, Boehm et ISO 9126 [Ince, 1995, p.280]	18
3.3	Contextualisation de l'expérience utilisateur dans la conception d'interaction [Hartson et Pyla, 2012]	20
3.4	Multidisciplinarité des IHM [Hartson et Pyla, 2012]	21
3.5	Connexion entre les deux cycles de vie [Hartson et Pyla, 2012, p.823]	21
3.6	L'évaluation des IHM à la croisée des techniques de l'ergonomie et de l'ingénierie du logiciel [Balbo et Coutaz, 1994]	22
3.7	La loi de similarité	22
3.8	Exemple de bonne ergonomie [Johnson, 2010, p.58]	23
3.9	Exemple de mauvaise ergonomie [Johnson, 2010, p.58]	23
3.10	Croisée des disciplines dans le modèle en V [Balbo et Coutaz, 1994]	23

3.11	L'intérêt marketing de la couleur dans notre société (simulation deuteranope à droite)	26
3.12	La loi de similarité de la figure 3.7 simulée (tritanope)	26
3.13	Exemple de formulaire problématique (vision deuteranope en dessous)	27
3.14	Graphique du service Google Analytics (vision deuteranope à droite)	28
4.1	Version simplifiée du processus de conception d'interfaces de [Dix <i>et al.</i> , 2004]	29
4.2	Version simplifiée du processus de conception d'interfaces de [Nogier, 2008]	29
4.3	Processus de conception ciblé [Cooper <i>et al.</i> , 2007]	30
4.4	Processus de conception d'interfaces d'après [Hartson et Pyla, 2012]	31
4.5	Espace de complexité des systèmes [Hartson et Pyla, 2012]	31
4.6	Exemple de WAAD [Hartson et Pyla, 2012]	34
4.7	Rôle de travail selon [Hartson et Pyla, 2012]	35
4.8	Exemple de modèle social [Hartson et Pyla, 2012]	35
4.9	Exemple de modèle de structure des tâches [Hartson et Pyla, 2012]	36
4.10	Exemple de scénarios de cas d'utilisation [Hartson et Pyla, 2012]	37
4.11	Étape de création du tri par cartes	38
4.12	Exemple de persona	39
4.13	Structure normalisée de logiciels Microsoft [Dumas, 2014]	41
4.14	Exemple de formulaire [Tidwell, 2010]	42
4.15	Indication de progression d'une tâche [Dumas, 2014]	42
4.16	Exemple d'état de système affiché à l'utilisateur [Dumas, 2014]	42
4.17	Prototype du plus bas niveau de fidélité au plus haut [Dix <i>et al.</i> , 2004]	44
4.18	Le protocole de test de [Nogier, 2008]	46
5.1	Synthèse du processus de conception d'interfaces adapté	56
5.2	Exemple de tracking réalisé avec un oculomètre	59
5.3	Exemple d'une carte comme image cliquable	64
5.4	Catalogue de vêtements sur un site dont les couleurs sont difficilement discernables pour un daltonien	64
5.5	Choix d'une couleur de vêtement facilité par la description textuelle lors du survol	65
5.6	Choix par la couleur ou le texte	65
5.7	Exemple de lien non perçu par un daltonien	65
5.8	Graphique dont certaines parties ne sont pas discernables	66
5.9	Graphique discernable par la disposition de la légende [Johnson, 2010]	66
5.10	Graphique discernable par les motifs	66
5.11	Graphique discernable par une interaction	66
5.12	Information supplémentaire lors de l'interaction avec un graphique	67
5.13	Exemple d'interaction sur un graphique	67
5.14	iChat : un exemple de bon moyen pour véhiculer l'information	67
5.15	Des alertes perçues par différentes caractéristiques	67
5.16	Exemple de mauvais choix de couleurs de texte	68
5.17	Exemple de meilleur choix de couleurs de texte	68
5.18	Liens google déjà visités démarqués par la couleur (vision daltonienne en dessous)	68
5.19	Site non conforme au rapport de contraste exigé	69
5.20	Application conforme au rapport de contraste exigé	69

5.21	Exemple de formulaire dont les erreurs sont caractérisées uniquement par la couleur	70
5.22	Exemple de champ dont le caractère obligatoire n'est identifiable que par la couleur	70
5.23	Champs de formulaire correctement implémentés	71
5.24	Exemple d'analyse d'une page par Wave	73
5.25	Analyse des contrastes d'une page d'un site	73
5.26	Outil de calcul du rapport de contraste	74
5.27	Logiciel de calcul du rapport de contraste	74
5.28	Outil de vérification du rapport de contraste entre 2 couleurs	74
5.29	L'outil ColorSchemeDesigner	75
5.30	Outil de visualisation des complémentarités de couleurs	75
5.31	Outil de perception de couleurs sur un arrière-plan	75
5.32	Outil complet de validation des normes W3C 1.4.3 et 1.4.6	76
5.33	Comparaison des simulations daltoniennes	76
5.34	Exemple de simulation avec le logiciel Sim Daltonism	77
6.1	Exemple de simulation de la vision deuteranope sur une image de catégorie définie comme technique	80
6.2	Exemple de vision deuteranope d'une image de catégorie définie comme intermédiaire	80
6.3	Exemple d'une image simulée de catégorie définie comme illustrative	81
6.4	Capture d'écran du logiciel Color Blind Pal ne mettant en évidence que la gamme de couleurs souhaitée	83
6.5	Capture d'écran du logiciel Color Blind Pal remplaçant une gamme de couleurs souhaitée par une hachure	84
6.6	Capture d'écran de l'application Daltonize Me	85
6.7	Exemple de correction de couleurs avec l'extension Chrome Daltonize	85
6.8	Capture d'écran d'un exemple de correction avec le logiciel Color Enhancer	85
6.9	Test de classement du site http://colour-blindness.org	88
6.10	Exemple de diagnostic du test de classement	88
7.1	Nombre de réponses valides pour chaque participant toutes situations confondues correspondant aux sites web problématiques avec et sans correction de couleurs . .	95
7.2	Nombre de réponses valides pour chaque participant toutes situations confondues correspondant aux interfaces 1 et 2	95
7.3	Nombre d'erreurs et d'hésitations pour chaque participant toutes situations confon- dues sur les sites web	95
7.4	Graphiques des pourcentages de réponses valides, d'hésitations et d'erreurs pour l'ensemble des participants toutes situations confondues correspondant à chaque approche	99
7.5	Graphiques de comparaison des approches pour l'ensemble des participants toutes situations confondues	99
9.1	Crayon de couleurs dont la vision non déficiente est présentée en haut à gauche et dont les simulations sont respectivement à la suite de gauche à droite et de haut en bas : protanopie, deuteranopie, tritanopie, achromatopsie, protanomalie, deuteranomalie et tritanomalie	119

9.2	Équipe de football américain lors d'un match dont la simulation protanope est en dessous de la vision non daltonienne	119
9.3	Feux de signalisation vu par un non daltonien à gauche et par un daltonien à droite ¹	120
9.4	Différentes sortes de vêtements dont la vision daltonienne est présentée en dessous de la vision non déficiente	120
9.5	Version en ligne du test de classement	121
9.6	Tableau d'interprétations du test de classement selon Farnworth	121
9.7	Diagnostic d'un test pratiqué avec une simulation de la protanopie	122
9.8	Diagnostic d'un test pratiqué avec une simulation de la deuteranopie	122
9.9	Diagnostic d'un test pratiqué avec une simulation de la protanomalie	122
9.10	Découpe du test pratiqué avec une simulation de la protanopie	123
9.11	Découpe du test pratiqué avec une simulation de la deuteranopie	123
9.12	Affichage des lignes de confusion en fonction de la distribution des jetons de couleurs relative aux découpes précédentes, respectivement de gauche à droite pour la protanopie et la deuteranopie, avec pour dernier graphique l'association avec l'axe principal de confusion de la deuteranopie	123
9.13	Exemple de planche pseudoisochromatique qui n'est pas déchiffrable lors d'une simulation tritanope	124
9.14	Diagnostic d'un test d'ishihara pratiqué respectivement avec une simulation de la deuteranopie en dessus, et pour une personne dite moyennement deuteranope en dessous	124
9.15	Différence de visions pour observer les victoires/défaites des 10 derniers matchs	125
9.16	Liste de valeurs positives et négatives sur le marché financier	125
9.17	Liens visités et non visités sur google	126
9.18	Formulaire de contact sur orange.be	126
9.20	Carte du prix de l'immobilier à Paris	127
9.21	Pommier dont les fruits sont difficilement perçus par un daltonien	128
9.22	Graphique de mesure de l'ozone dans différentes stations de France	128
9.23	Image d'une plage en vision normale et protanope	129
9.24	Illustration d'une plage en vision normale et protanope dont les couleurs sont altérées	129
9.25	Page d'accueil de l'interface implémentée avec une méthodologie de conception classique (prototype 1)	131
9.26	Page d'accueil de l'interface implémentée avec une méthodologie de conception adaptée (prototype 2)	132
9.27	2 ^e page du prototype 1	133
9.28	2 ^e page du prototype 2	134
9.29	3 ^e page du prototype 1	135
9.30	3 ^e page du prototype 2	136
9.31	4 ^e page du prototype 1	137
9.32	4 ^e page du prototype 2	138
9.33	Dernière page du prototype 1	139
9.34	Dernière page du prototype 2	139
9.35	Diagnostic du test de classement du sujet n°1	144
9.36	Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°1	144
9.37	Diagnostic du test de classement du sujet n°2	145

9.38	Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°2	145
9.39	Diagnostic du test de classement du sujet n°3	147
9.40	Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°3	147
9.41	Diagnostic du test de classement provenant de color-blindness.com du sujet n°3 . .	147
9.42	Diagnostic du test de classement du sujet n°4	148
9.43	Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°4	148
9.44	Diagnostic du test de classement du sujet n°5	150
9.45	Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°5	150

Glossaire

accessibilité

L'accessibilité est, selon [Vanderdonckt et Limelette, 2005], la capacité d'une interface à pouvoir être consultée par tous et dans toutes les conditions. 1, 25, 55

affordance

D'après [Hartson et Pyla, 2012], l'affordance est définie par la valeur de la description de l'objet susceptible d'inciter l'utilisateur à exécuter l'action associée. 24, 41, 79

anomalie héréditaire récessive

Anomalie dont le caractère héréditaire doit être transmis par le père et la mère pour se manifester chez l'enfant. Plus précisément, on parle de récessivité lorsqu'un allèle (une version du gène) ne peut donner un phénotype (caractère observable) s'il est seul représentant dans les chromosomes. Au contraire, on parle d'allèle dominant lorsqu'un seul allèle permet de définir un phénotype [McIntyre, 2002]. 7

assurance qualité

Selon l'IEEE, l'assurance qualité logicielle est définie comme un modèle planifié et systématique de toutes les actions nécessaires pour fournir une confiance adéquate qu'un produit est conforme à ses exigences techniques établies [Ince, 1995]. 17

dyschromatopsie

Anomalie héréditaire récessive provoquant un trouble de la perception des couleurs [McIntyre, 2002]. 7, 62, 63, 87

ergonomie

L'ergonomie (ou l'étude des facteurs humains), d'après [Vanderdonckt et Limelette, 2005], est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les êtres humains et les autres composants d'un système et la mise en œuvre dans la conception de théories, de principes, de méthodes et de données pertinentes afin d'améliorer le bien-être des hommes et l'efficacité globale des systèmes. 1, 22, 40, 60

expérience utilisateur

L'expérience utilisateur représente, selon [Hartson et Pyla, 2012, p.19], l'ensemble des réponses et des effets ressentis par l'utilisateur résultant de l'interaction ou de l'anticipation de l'interaction avec un système et dépendant du contexte d'utilisation. XIV, 1, 17, 20, 44, 46, 51, 61, 78, 79, 90, 103

flat design

Style de design d'interface graphique caractérisé par son minimalisme et se basant sur l'usage de formes simples, de couleurs vives et de jeux de typographie [Johnson, 2010]. 26

ingénierie du logiciel

L'ingénierie du logiciel, d'après [Kan, 2002], dénote l'étude des activités de conception et de mise en œuvre des produits et des méthodes assurant la production d'un logiciel de qualité et son suivi.. 1, 18, 58

interaction homme-machine

L'interaction homme-machine est déterminée dans [Hartson et Pyla, 2012] comme l'accomplissement d'une tâche grâce à une communication entre un utilisateur et un ordinateur. XIV, 1, 20, 29, 55, 79, 97

modèle mental

Le **modèle mental** est décrit dans [Carroll *et al.*, 1987] comme une forme de représentation de la réalisation d'un phénomène afin de prédire son comportement. 24, 25, 41

modèles de qualité

Selon la norme ISO/IEC 9126-1, un modèle de qualité est défini comme l'ensemble des caractéristiques et de leurs relations, constituant la base de spécification des exigences et de l'évaluation de la qualité [Ince, 1994]. 19

métrique

Une métrique est défini par [Tullis et Albert, 2008, p.7] comme un moyen de mesurer ou d'évaluer un phénomène ou une chose en particulier. 20, 49

planches pseudoisochromatiques

Les planches pseudoisochromatiques sont constituées d'une mosaïque de points dont les couleurs sont sélectionnées afin que les symboles imprimés (nombres, formes géométriques, lettres, etc.) soient vus de façon différente par le sujet normal et le dyschromate [McIntyre, 2002]. 15, 123

qualité des produits logiciels

D'après l'institut de normalisation américaine (ANSI), la qualité logicielle concerne l'ensemble des attributs et caractéristiques d'un produit ou d'un service qui porte sur sa capacité à satisfaire des besoins donnés [Ince, 1994]. 17

sémiologie

La sémiologie est la science générale des signes, apparue au début du XX^e siècle [Joly, 2015]. 80

utilisabilité

L'utilisabilité est la composante empirique de l'expérience utilisateur, incluant l'efficacité, la performance, la productivité, la satisfaction utilisateur, la facilité d'utilisation, d'apprentissage et de mémorisation [Hartson et Pyla, 2012]. 1, 17, 19, 29, 46, 79

Acronymes

CIE

Commission Internationale de l'Éclairage : organisation internationale ayant défini les espaces colorimétriques CIE RGB et XYZ en 1931 [Malacara, 2011]. 11

HSL

Hue Saturation Lightness : système de codage des couleurs en informatique [Dordet, 1990]. 9

IHM

cf. *interaction homme-machine**. 20, 22, 24, 26

UX

User Experience : cf. *expérience utilisateur**. 20, 21, 40, 107

W3C

World Wide Web Consortium : communauté internationale d'organisations, d'une équipe à temps plein et de personnes travaillant ensemble pour développer des standards du Web [W3C, 2016c]. XIV, 63

WAI

Web Accessibility Initiative : créé en février 1997 par le *W3C**, et regroupant aujourd'hui plus de 500 membres ; des organisations issues de l'industrie, des organismes pour personnes handicapées, de la recherche et du gouvernement [W3C, 2016a]. 63

Chapitre 1

Introduction

1.1 Problématique

La plupart des concepteurs ignorent totalement qu'une grande partie de ce qu'ils produisent est inaccessible à 1 homme sur 12. En cause : des diagrammes et infographies présentant des résultats illisibles, des interactions déplorables, un style graphique contraignant. En somme, une mauvaise expérience utilisateur. Ces entreprises n'ont pas conscience qu'ils perdent environ 8 % de leurs marchés cibles parce qu'ils ne prennent pas en considération les effets du daltonisme.

Cette anomalie souvent oubliée sur Internet est un obstacle à la compréhension de l'information, qui constitue pourtant un droit fondamental. En veillant à concevoir une interface informatique accessible à tous, le nombre de visiteurs devraient augmenter et la situation serait profitable pour tous. Il s'agit d'une manière de réduire la fracture numérique.

Depuis quelques décennies cependant, l'intérêt pour la qualité des produits logiciels et pour l'expérience utilisateur s'est amplifié. Cette réaction fait suite à la crise du logiciel pendant laquelle l'assurance de la qualité n'était pas satisfaisante. L'*utilisabilité** est une de ces qualités, qu'il est fortement recommandé de prendre en considération lors de la conception d'interfaces. L'étude de l'*ergonomie** et de l'*expérience utilisateur**, à la croisée des domaines d'*interaction homme-machine** et d'*ingénierie du logiciel**, permet de raffiner cette mise en oeuvre.

Par ailleurs, et malgré les méthodologies traditionnelles, des contraintes d'*accessibilité** subsistent pour une partie des utilisateurs. De nos jours, la richesse de visualisation et l'aspect esthétique d'une interface sont souvent prioritaires dans le développement. L'utilisation des couleurs en est un exemple récurrent. Si l'enrichissement du contenu web n'est pas guidé par de bonnes pratiques, les répercussions sur l'interaction sont nombreuses, en particulier pour les daltoniens. C'est pourquoi il est intéressant d'étudier ce phénomène et de comprendre l'impact de l'accessibilité sur le processus de conception d'interfaces.

1.2 Approche

Le but premier de ce mémoire est de développer une méthodologie plus appropriée à la conception d'interfaces pour les daltoniens. Cette approche vise donc à considérer les effets d'une contrainte d'accessibilité sur l'expérience utilisateur lors du développement. Bien que cette particularité soit abordée dans la littérature scientifique, les questions relatives à l'amélioration des approches de conception ne semblent pas traitées en profondeur.

Une autre approche consiste à corriger les problèmes potentiels postérieurement à la création d'interfaces. Dans ce contexte, les bonnes pratiques ergonomiques n'ont pas de réelle importance lors de la réalisation. La pertinence de cette démarche s'est d'ailleurs confirmée au cours des travaux préparatoires de la présente étude. Cette technique est capable de susciter l'intérêt, mais son efficacité est inconnue.

Par conséquent, l'intérêt principal est de comparer les approches précitées afin de construire un processus de conception qui répond aux objectifs posés. En somme, cela conduit à s'interroger sur les aspects suivants :

- quelles sont les limites imposées par une contrainte d'accessibilité ?
- dans quelles conditions le daltonisme peut avoir un impact négatif sur l'expérience utilisateur ?
- existe-t-il des solutions ?
- une méthodologie de conception adaptée peut-elle être développée ?
- si le cas se présente, dans quelle mesure est-ce efficace ?
- quelle approche est capable de répondre aux exigences de la manière la plus appropriée ?
- quel niveau de qualité confère chacune des démarches ?

En définitive, les **objectifs** inhérents au sujet sont divers et devraient permettre de répondre à la série d'interrogations précitées :

- comprendre l'influence du daltonisme sur l'interaction homme-machine ;
- faire un bilan des méthodes de conception d'interfaces traditionnelles ;
- dresser un inventaire des mauvaises expériences utilisateurs pour les dyschromates ;
- évaluer l'intérêt et les limites des différentes approches afin de remédier au problème d'accessibilité ;
- améliorer l'expérience utilisateur des logiciels exposés aux contraintes d'accessibilité.

1.3 Méthodologie

Afin de répondre aux objectifs, le mémoire est structuré en deux parties : un état de l'art suivi de la description des contributions. En guide d'introduction au contexte de ce travail, le premier chapitre de l'état de l'art détaille le problème d'accessibilité à étudier, tandis que le second le remet dans un contexte informatique en étudiant son impact sur l'interaction homme-machine. Divers concepts tels que l'utilisabilité, la psychologie cognitive, l'ergonomie, l'expérience utilisateur et l'accessibilité y sont abordés. Le dernier chapitre présente les aspects méthodologiques importants de la conception d'interfaces.

À la suite de cette partie théorique, le chapitre 5 contribue à construire une adaptation de la méthodologie, présentée au chapitre qui le précède, consacrée à la déficience de vision des couleurs. Celui-ci se base en partie sur des éléments théoriques des chapitres 2 et 3.

Les chapitres suivants se consacrent aux expérimentations à réaliser. Celles-ci portent sur des évaluations utilisateurs relatives à des conceptions d'interfaces réalisées avec différentes approches. Pour cela, le chapitre 6 comprend un inventaire des interfaces potentiellement dotées d'une mauvaise conception ergonomique au regard des dyschromates et les solutions de correction de couleurs existantes permettant d'y remédier. Un protocole expérimental y est également déterminé.

Les résultats et les interprétations contenus dans le chapitre 7 fournissent les informations nécessaires à la conclusion du travail accompli. Les contraintes de l'étude sont discutées dans le chapitre 8. Finalement, l'ensemble du travail devrait permettre de comprendre l'influence du daltonisme sur le processus actuel de conception d'interfaces et d'en tirer des conclusions quant à son adaptation.

Première partie

État de l'art

Chapitre 2

Compréhension du daltonisme

2.1 Définition générale

Definition 1. Également appelé *dyschromatopsie** ou “déficiency de la vision des couleurs”, le daltonisme est défini dans [McIntyre, 2002] comme une anomalie héréditaire récessive* liée au chromosome X provoquant un trouble de la perception des couleurs.

Selon [Elias et Lafait, 2006; Malacara, 2011; McIntyre, 2002], cette anomalie affecte approximativement un homme sur douze tandis qu’une femme sur deux cents seulement est atteinte. John Dalton, physicien et chimiste anglais, lui-même daltonien, décrit pour la première fois ce trouble héréditaire en publiant sa première étude scientifique en 1794 : “Faits extraordinaires relatifs à la vision des couleurs avec observations”. D’emblée, le médecin et physicien Thomas Young le diagnostique comme tel, exposant sa “Théorie de la vision trichromatique” en 1801 pour laquelle l’ensemble des couleurs peut être déterminé par la combinaison de trois d’entre elles.

2.2 Causes

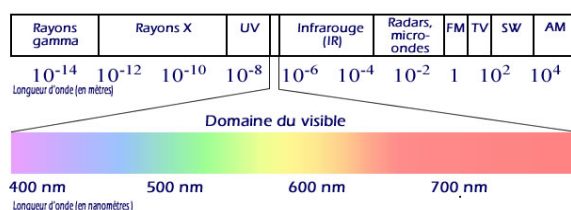


FIGURE 2.1 – Les longueurs d’ondes de la lumière [Elias et Lafait, 2006, p.280]

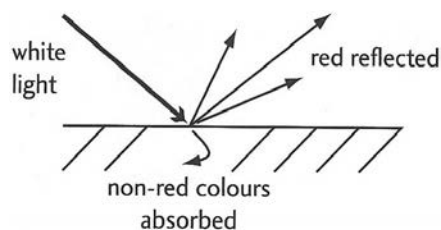


FIGURE 2.2 – Absorption et réflexion des couleurs [McIntyre, 2002, p.12]

Décomposition de la lumière

Les phénomènes relatifs à la lumière sont principalement décrits dans [Dordet, 1990; Elias et Lafait, 2006; Malacara, 2011]. La lumière perçue par l’homme constitue la partie visible de l’en-

semble des ondes électromagnétiques, dont les longueurs d'ondes varient entre 400 nm (violet) et 700 nm (rouge). Cela ne constitue qu'une faible partie du spectre de la lumière (exposé à la figure 2.1). Considérant un faisceau de lumière blanche appliqué sur un objet solide, certaines couleurs sont absorbées par celui-ci, d'autres sont réfléchies et donc visibles pour l'oeil humain (cf. figure 2.2). La combinaison de plusieurs longueurs d'ondes produit, par l'intermédiaire d'un processus d'interprétation, la sensation d'une seule couleur.

Deux processus de combinaison de couleurs existent : la synthèse additive et la synthèse soustractive.

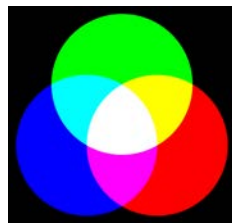


FIGURE 2.3 – Synthèse additive des couleurs¹

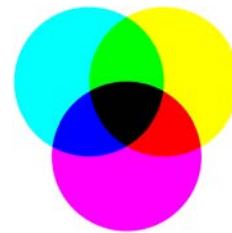


FIGURE 2.4 – Synthèse soustractive des couleurs¹

La synthèse additive (cf. figure 2.3), spécifique à tout type d'écrans, consiste à additionner plusieurs sources colorées afin de former une nouvelle couleur ([Elias et Lafait, 2006, p.323]). Par conséquent, pour percevoir du jaune, l'oeil doit recevoir un rayon rouge et un rayon vert simultanément. La couleur "noire" est alors observée lorsque qu'aucun rayon lumineux n'est atteint par l'oeil. Les couleurs primaires (formé d'un seul rayon lumineux) sont le rouge, le vert et le bleu. Les couleurs secondaires (deux rayons) sont le jaune, le magenta et le cyan.

En ce qui concerne la synthèse soustractive (cf. figure 2.4), la source lumineuse est le blanc du papier (ou tout support physique) et chaque apport de couleur élimine une certaine quantité de luminosité puisqu'elle est absorbée par le support ([Elias et Lafait, 2006, p.324]). Une plus faible proportion des rayons lumineux est alors réfléchi. Les couleurs primaires et secondaires sont de la sorte interchangeables par rapport au premier système.

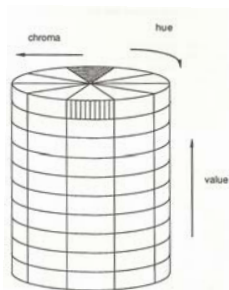


FIGURE 2.5 – Le système de Munsell [Dordet, 1990, p.77]

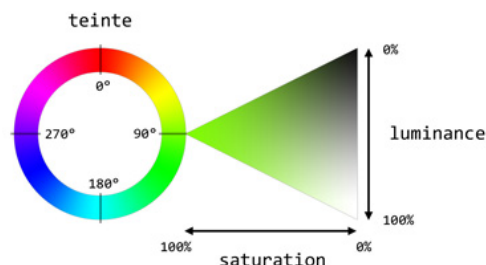


FIGURE 2.6 – Les 3 dimensions du modèle HSL²

¹<http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/p1066.aspx>

²<http://iamvdo.me/blog/les-avantages-de-hsl-par-rapport-a-rgb>

Par ailleurs, le nommage des différentes couleurs utilisées dans la vie courante est imprécis dans le langage naturel et dépend d'une culture ou d'un individu à l'autre, particulièrement si celui-ci n'observe pas les couleurs de la même façon. D'après [Malacara, 2011, p.105-110][Dordet, 1990, p.76-78][McIntyre, 2002], il existe plusieurs modèles de standardisation dont l'objectif est de coder l'ensemble des couleurs. Le plus répandu est celui de Munsell, le modèle HSL^* des figures 2.5 et 2.6 décrivant 3 variables :

- hue (“teinte”) : la quantité de chaque couleur primaire (rouge, vert et bleu) ;
- saturation (“chroma”) : la pureté, l'intensité d'une couleur ;
- lightness (“value”, “luminosité”) : la distance entre le blanc et le noir.

Phénomène de perception visuelle

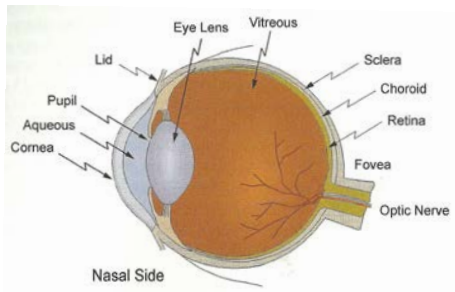


FIGURE 2.7 – La structure de l'oeil [Malacara, 2011, p.41]

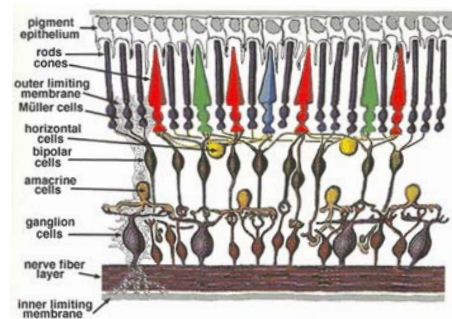


FIGURE 2.8 – Les photorécepteurs : cônes et bâtonnets [Malacara, 2011, p.47]

La vision des couleurs est étroitement liée au fonctionnement de l'oeil, comme le détaille [Malacara, 2011]. Les informations visuelles sont transmises en émettant des signaux électriques traversant le nerf optique afin d'atteindre le cortex. Ce dernier est la partie du cerveau responsable de l'interprétation des couleurs en fonction de la luminosité, la teinte et la saturation.

La structure de l'oeil, visible sur la figure 2.7, est, entre autres, constituée de photorécepteurs situés à la surface de la rétine. Ceux-ci, apparaissant sur la figure 2.8, comprennent deux types : les bâtonnets, sensibles à la luminosité, et les cônes, responsables de la perception des couleurs. Chacun de ces cônes porte l'un des trois types de photopigments existants et entraînent des réactions chimiques différentes en fonction des sources lumineuses.

[McIntyre, 2002] et [Malacara, 2011] caractérisent l'absorption de la couleur comme spécifique à chaque sorte de pigment et superposée à une courbe dont les sommets sont en différents points du spectre de la couleur :

- s-cones (bleu) : sensibles aux longueurs d'ondes courtes de sommet 420 nm ;
- m-cones (vert) : sensibles aux longueurs d'ondes moyennes de sommet 530 nm ;
- l-cones (rouge) : sensibles aux longueurs d'ondes grandes avec pour sommet 560 nm.

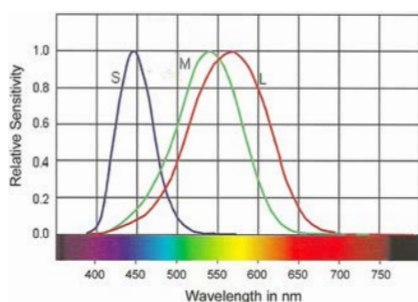


FIGURE 2.9 – Les longueurs d’ondes LMS [Malacara, 2011, p.53]

Ces trois courbes (figure 2.9), représentant l’espace de couleurs LMS (Long-Medium-Short), sont essentielles à la compréhension de la vision des couleurs. Cette dernière dépend de l’intensité relative des signaux provenant des différents cônes et permet par conséquent à chaque individu de bénéficier d’une vision qui lui est propre.

2.3 Types de déficiences de la vision des couleurs

Tableau 2.1 – Types de déficiences de la vision des couleurs [Malacara, 2011; McIntyre, 2002]

Type	Définition
Trichromatopsie anormale	Présence des trois catégories de cônes dont l’un est déficient. Une mutation du pigment a pour effet de diminuer la sensibilité à la couleur associée. Dans la suite de ce travail, une vision sera dite “normale” si elle ne présente pas ce type de mutation, caractérisant un individu non daltonien.
Dichromatopsie	Absence d’un des trois cônes récepteurs.
Achromatopsie typique	Extrêmement rare, il s’agit d’une absence totale de vision des couleurs due au manque des cônes de la rétine. L’achromate perçoit seulement les nuances de gris par l’intermédiaire des photorécepteurs “bâtonnets”.
Achromatopsie atypique	Les cônes, fonctionnels, ne sont pas responsables de la disparition des couleurs visibles. Une région du cerveau en est probablement la cause.

Il est important de considérer que la dyschromatopsie, selon [Dordet, 1990; Elias et Lafait, 2006; Malacara, 2011; McIntyre, 2002], existe sous différentes formes et degrés, et possède une nomenclature adaptée. Les différents types sont étroitement liés aux photorécepteurs disponibles normalement dans notre œil, détaillés à la section 2.2. Ainsi, la sensibilité à chaque longueur d’onde de la lumière est modifiée selon un schéma systématique (cf. figure 2.10) permettant de définir la classification établie dans le tableau 2.1.

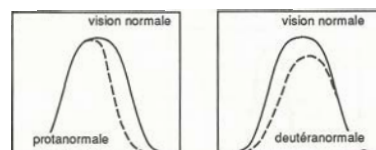


FIGURE 2.10 – Modification de la sensibilité des longueurs d’ondes due à la dyschromatopsie [Dordet, 1990, p.14]

Tableau 2.2 – Occurrence de chaque type de dyschromatopsie au Royaume-Uni [McIntyre, 2002]

Type	Cône affecté	Fréquence (%)	
		Homme (8.00)	Femme (0.50)
Trichromatopsie anormale	Rouge (Protanomalie)	1.00	0.03
	Vert (Deutanomalie)	5.00	0.35
	Bleu (Tritanomalie)	0.0002	
Dichromatopsie	Rouge (Protanopie)	1.00	0.01
	Vert (Deutanopie)	1.00	0.01
	Bleu (Tritanopie)	0.0001	
Achromatopsie	Rouge, vert et bleu	0.00003	

Le tableau 2.2 expose les statistiques des différents types de dyschromatopsie. Les hommes deuteranormaux demeurent la situation la plus préoccupante. La deutanopie, quant à elle, constitue la particularité associée à John Dalton. Elle seule peut véritablement désigner le “daltonisme”. Les autres cas sont des abus de langage.

2.4 Impacts

2.4.1 Influence sur le spectre chromatique

Comme le font remarquer [Dordet, 1990; Malacara, 2011; McIntyre, 2002] et contrairement à la croyance commune, ce n’est pas uniquement une ou deux couleurs qui ne sont pas visibles pour un dyschromate mais bel et bien l’entièreté du spectre chromatique qui est altéré (cf. section 2.2). D’autre part, cette vision diverge d’un individu à un autre, ce qui représente une difficulté majeure pour la compréhension du phénomène et l’exploration des solutions.

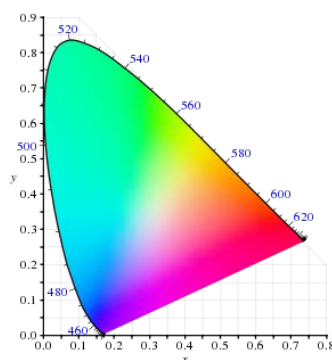


FIGURE 2.11 – Diagramme de chromaticité (x,y) de la CIE [Malacara, 2011, p.88]

La figure 2.11 représente un diagramme chromatique CIE^* de coordonnées x,y comportant l’ensemble des longueurs d’ondes distinguées par la vision humaine. Les lignes “isochromatiques”

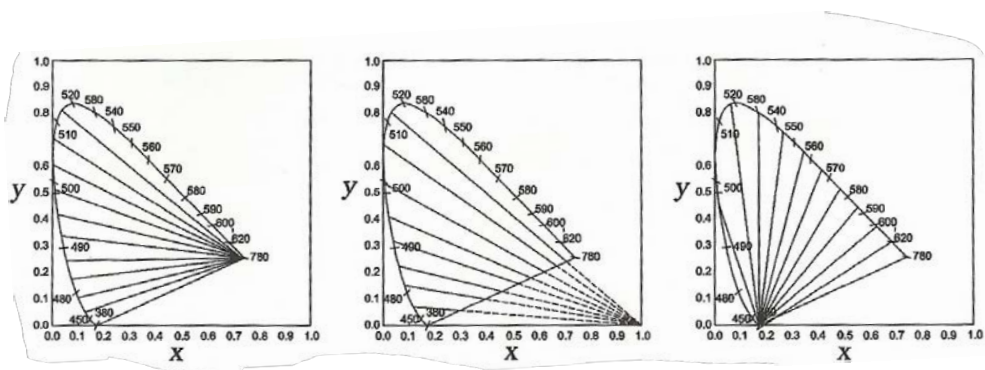


FIGURE 2.12 – Lignes de confusion, de gauche à droite, des protanopes, deuteranopes et tritanopes [Malacara, 2011, p.149]

en travers des graphiques de la figure 2.12 montrent les confusions de couleurs qui peuvent survenir en fonction de la déficience. Les couleurs le long d’une de ces lignes possèdent la même teinte et saturation pour un dichromate. Le diagramme n’inclut pas de quantité de luminosité.

La comparaison de ces diagrammes révèle la similarité des deux premiers types de déficiences en ce qui concerne les problèmes liés aux couleurs, principalement pour la distinction entre le vert et le rouge. Cette ressemblance rend les différents diagnostics particulièrement compliqués. En revanche, le diagramme relatif à la tritanopie est clairement distinct des deux autres.

Il est très difficile de comprendre de quelle manière un daltonien observe le monde. Leur environnement visuel ne comporte que deux couleurs dominantes et toutes les autres couleurs du spectre leur sont en fait bien visibles, mais par des nuances différentes. *“Using the strict term hue, rather than the more general term colour, it can be said that the dichromat sees only two hues. To them, objects are one of two hues, with varying degrees of saturation and lightness. In contrast, people with normal colour vision see more than 100 different hues.”* [McIntyre, 2002, p. 90].

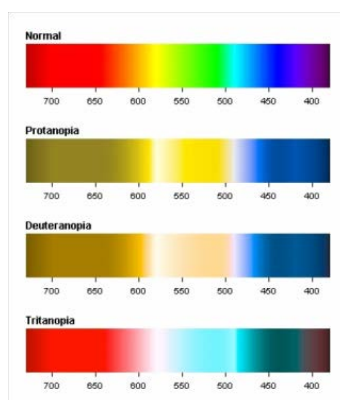


FIGURE 2.13 – Visions normale et simulées du spectre des couleurs visibles³

³<http://ndgperception.weebly.com/iii-le-daltonisme.html>

Les dichromates confondent, en termes de teintes, le rouge et le vert ainsi que toutes les couleurs qui partagent les mêmes lignes de confusions, incluant le jaune, l'orange et le brun. Ils utilisent les différences en termes de saturation et de luminosité comme repères pour distinguer ce qu'ils nomment "couleurs". Les différences pour un ensemble de couleurs entre les trois types de dychromatopsie sont observables sur la figure 2.13.

2.4.2 Apprentissage

L'apparence des couleurs est bien différente pour une personne daltonienne. Selon [Steward et Cole, 1989], les couleurs lui semblent pourtant normales depuis l'enfance tout comme il apparaît normal pour un être humain sans déficience de couleur d'observer uniquement une partie des longueurs d'ondes existantes de la lumière.

La prise de conscience de l'anomalie n'a lieu qu'en conséquence d'une interaction avec certains aspects de l'environnement créé par l'homme. Le daltonien a appris à associer les couleurs perçues avec le vocabulaire commun, lui permettant de les utiliser généralement de manière appropriée, même si la couleur est différente. Les feuilles, par exemple, connues pour être habituellement vertes, sont décrites vertes, quand bien même elles soient brunes ou rouges.

En définitive, il est évidemment inutile de demander à un daltonien de quelle couleur est un objet, étant donné qu'il aura tendance à décrire l'objet de la façon dont on lui a préalablement fait assimiler, et non comme il le perçoit réellement. Les couleurs sont subjectivement toujours différentes malgré le vocabulaire commun et ne peuvent pas constituer une référence. C'est pourquoi la compréhension de la problématique est si ambiguë.

2.4.3 Répercussions

[Dordet, 1990] et [McIntyre, 2002] définissent la vue comme l'activité sensorielle la plus importante. La perte, l'incertitude ou le ralentissement du traitement de ces informations jouent un rôle sur la qualité et le confort de vie.



FIGURE 2.14 – Ensemble de fruits censés être distinguables par la couleur⁴



FIGURE 2.15 – Simulation deuteranope du même ensemble de fruits

⁴http://www.cvrl.org/gallery/Dichromat_simulations.htm

En effet, une affection de la sensibilité à la couleur influence l'interaction qu'une personne peut avoir avec le reste du monde. Cela peut s'exprimer dans toutes sortes d'activités : choisir la nourriture, cuisiner, conduire, lire une légende, réparer des appareils électriques, choisir des vêtements, constater une brûlure, etc. Les figures 2.14 et 2.15 et l'annexe A sont, à titre d'exemples, des problèmes liés à la vie quotidienne. Des difficultés majeures peuvent se faire ressentir dès l'enfance, notamment dans l'enseignement, et peuvent donc avoir des répercussions sur l'éducation. Ceux-ci ont d'autant plus d'incidences si l'on ne prend pas l'anomalie en considération.

D'après [McIntyre, 2002; Steward et Cole, 1989], il n'est pas rare qu'un daltonien n'ait pas conscience de sa particularité durant une très longue période. Une personne daltonienne s'intéresse plus particulièrement aux formes et à la luminosité qu'à la nuance de couleur elle-même. Cette tendance peut s'avérer être un avantage dans certaines situations comme un inconvénient dans d'autres. Il développe un sens plus élaboré pour reconnaître des formes ou des dispositions différentes d'objets distincts de couleurs identiques. Par exemple, une personne ou un objet camouflé est généralement plus facile à identifier. En outre, et contrairement aux idées reçues, la distinction des feux de signalisation, s'il fait jour, n'est pas un réel problème puisqu'ils sont arrangés dans un certain ordre.

Néanmoins, la capacité à différencier les couleurs confère un avantage que l'homme a développé et qu'il utilise dans l'ensemble des infrastructures construites dans la société actuelle. La dyschromatopsie s'avère alors être un léger handicap dont il convient de se préoccuper. En réalité, l'anomalie présente une véritable gêne principalement parce que le monde actuel est adapté aux trichromates.

C'est pourquoi plusieurs métiers intègrent un test de dépistage : armée, aviation, police, électricien, pharmacie en laboratoire, etc. Bien que la plupart des professions n'exigent pas une quelconque capacité de distinction des couleurs à priori, la recherche d'informations peut provoquer certaines difficultés si celle-ci ne se repose que sur l'identification des couleurs. Cette contrainte se reflète nettement dans l'utilisation récente et intensive de l'informatique.

2.5 Tests de dépistage

Étant donné l'impact du daltonisme sur la vie de l'individu, il est conseillé d'évaluer les cas de déficiences de la couleur dès le plus jeune âge. [McIntyre, 2002] explique que ce diagnostic, suivant le type de test, donne des informations sur le type d'anomalie, sa sévérité et ses implications. Certains de ces tests sont reproduits informatiquement mais exigent un écran calibré et leurs résultats ne peuvent pas être déclarés comme entièrement fiables.

Tableau 2.3 – Comparaison des réussites aux différents types de test [McIntyre, 2002, p.77]

Degré de déficience	Ishihara	Lanterne	D15
Normal	✓	✓	✓
Léger	✗	✓	✓
Moyen	✗	✗	✓
Sévère	✗	✗	✗

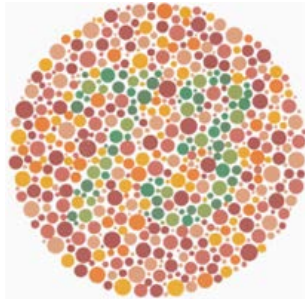


FIGURE 2.16 – Plaque d’Ishihara [Ishihara, 2000]

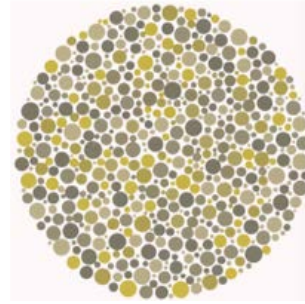


FIGURE 2.17 – Simulation protanope d’une plaque d’Ishihara avec l’outil Sim Daltonism

Le test d’Ishihara, contenant des *planches pseudoisochromatiques**, inventé en 1917 par Ishihara, est le test le plus connu et le plus fréquemment utilisé. Il est très efficace pour détecter une déficience rouge-vert (cf. tableau 2.3) mais ne fournit pas un diagnostic précis ni sur le degré ni sur le type d’affectation. Il consiste à distinguer un symbole caché dans un arrière-plan de points colorés, visible sur les figures 2.16 et 2.17 (respectivement en vision normale et simulée).



FIGURE 2.18 – Le test de classement FM100 [McIntyre, 2002, p.121]

Le test de classement est constitué d’un certain nombre de pièces colorées à classer par ordre de changement de couleur progressif. Une mesure précise du type et de la sévérité est calculée sur base de la comparaison de l’ordre de classement avec son intégration dans le spectre chromatique (cf. 2.4.1 et annexe B.1). Cependant, le test “FM100” comprenant 85 pièces par exemple, illustré sur la figure 6.9, est laborieux et exige une concentration optimale de la part du sujet. Cela implique parfois de le déterminer dichromate alors qu’il ne l’est pas. Dans le cas du “D15”, le test peut s’avérer hasardeux ou trop facile, impliquant la réussite du test par des trichromates légèrement anormaux.



FIGURE 2.19 – L’anomaloscope [McIntyre, 2002, p.121]

L'anomaloscope (cf. figure 2.19) est un dispositif optique pour lequel le sujet doit corriger une partie d'image pour la faire correspondre à la teinte de l'autre partie. Cet outil est le plus précis en ce qui concerne la distinction des protanopes et des deuteranopes et la mesure de sévérité.

La lanterne de Beyne sert à évaluer le degré de daltonisme et est utilisé comme complément au test d'Ishihara dans certains cas. Ce test est souvent pratiqué dans l'aviation, la marine, et dans l'armée. La lanterne émet une série de lumières colorées que l'utilisateur doit nommer.

Un test génétique est finalement le diagnostic plus fiable. Mais ce procédé n'est disponible qu'en laboratoire.

2.6 Solutions

Stratégies individuelles

Comme déjà suggéré à la section 2.4.3, la plupart des daltoniens développent des stratégies leur permettant de contrecarrer leurs problèmes quotidiens. Ces techniques pourraient être minutieusement étudiées afin de proposer des alternatives fiables et accessibles aux daltoniens pour toute situation qui les requiert.

Filtres

Certains filtres ont été conçus en laboratoire afin de pallier au problème. Ceux-ci sont généralement utiles afin d'identifier et de distinguer des paires de couleurs. Ces dispositifs assistent particulièrement les activités de lecture de carte, de graphiques, de légendes, etc.

Lunettes et lentilles

Des lunettes et des lentilles adaptées à la vision daltonienne ont été commercialisées. Cela confère une aide pour différencier plus facilement certaines couleurs qu'ils confondaient auparavant et transforme leur vision des couleurs. Néanmoins, ces appareils oculaires peuvent introduire d'autres confusions et complications.

En définitive, les solutions existantes, décrites dans [McIntyre, 2002], sont aptes à améliorer les performances pour réussir les tests de déficiences de la vision des couleurs dans certains cas mais ne présentent pas de résultat assez probant et universel pour corriger l'ensemble des problèmes. De plus, la satisfaction de la personne n'est pas réellement prise en compte et celle-ci n'obtient pas une nette amélioration de sa vision des couleurs, même après une utilisation prolongée.

Chapitre 3

Répercussions sur l'interaction homme-machine

3.1 Contexte et motivation

Il y a quelques dizaines d'années, d'après [Hartson et Pyla, 2012, p.7], les ordinateurs n'avaient d'utilité que pour les experts du domaine. A cette époque, la plupart des utilisateurs n'accordent pas la moindre importance aux mauvaises interactions qu'ils peuvent avoir avec la machine. Cette mauvaise conception est justifiée par le succès de la vente et l'accommodation des usagers.

Par conséquent, il ressort de [Rubin, 1994] que bon nombre d'entreprises ont vu le jour pour assister ces technologies informatiques complexes qui ne sont pas utilisées correctement. Elles profitent de l'opportunité d'un manque de prise de conscience de l'*utilisabilité** du produit. La garantie de *qualité des produits logiciels** est rarement respectée et se remarque d'ailleurs lors de l'achat : *"This software is provided without warranty of any kind. This manufacturer does not warrant that the functions contained in the software will meet your requirements [...]"*. [Hartson et Pyla, 2012, p.8-9]

Cependant, au plus l'informatique se démocratise et s'impose dans la société, au plus les utilisateurs s'interrogent sur cette faiblesse. Leurs exigences croissantes sont alors comblées par un processus complet d'*assurance qualité** de l'*expérience utilisateur**. De cette manière, malgré le budget et le temps plus importants accordés à cette méthode, la satisfaction générale engendrée à long terme devrait être profitable à l'ensemble des parties prenantes.

C'est pourquoi [Rubin, 1994] constate que l'intérêt pour l'aspect utilisable des logiciels s'intensifie et change la façon dont ceux-ci sont conçus. L'interface doit s'adapter à l'utilisateur et non l'inverse. La responsabilité de prise en compte de l'utilisabilité revient conventionnellement aux ergonomes. Mais cette tendance disparaît aujourd'hui pour rendre les développeurs responsables de cet aspect sans qu'ils soient réellement formés pour satisfaire cette qualité. Il est pourtant nécessaire d'étudier et de développer cette discipline afin de faire face au problème.

3.2 De l'utilisabilité à l'expérience utilisateur

3.2.1 Les qualités logicielles

Definition 2. *L'ingénierie du logiciel**, d'après [Kan, 2002], dénote l'étude des activités de conception et de mise en œuvre des produits et des méthodes assurant la production d'un logiciel de qualité et son suivi.

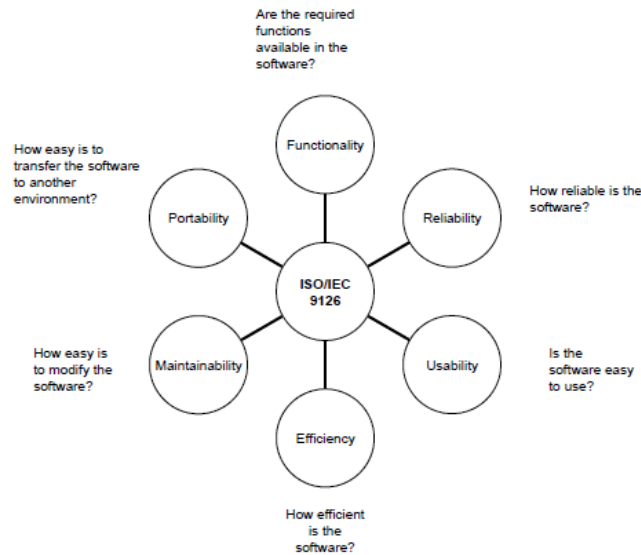


FIGURE 3.1 – Le modèle de qualité ISO 9126 [Ince, 1994, p.280]

Criteria/goals	McCall, 1977	Boehm, 1978	ISO 9126, 1993
Correctness	*	*	maintainability
Reliability	*	*	
Integrity	*	*	
Usability	*	*	*
Efficiency	*	*	*
Maintainability	*	*	*
Testability	*		maintainability
Interoperability	*		
Flexibility	*	*	
Reusability	*	*	
Portability	*	*	*
Clarity		*	
Modifiability		*	maintainability
Documentation		*	
Resilience		*	
Understandability		*	
Validity		*	maintainability
Functionality			
Generality		*	
Economy		*	

FIGURE 3.2 – Comparaison des critères des modèles de McCall, Boehm et ISO 9126 [Ince, 1995, p.280]

[Rubin, 1994] affirme que le besoin d'étudier de manière plus rigoureuse le développement d'un produit informatique, comme expliqué à la section 3.1, a ouvert la voie à l'ingénierie du logiciel.

Son domaine de connaissances couvre en particulier le cycle de vie d'un logiciel, ses activités clés et leur ordre de déroulement. L'analyse des besoins, la conception, l'implémentation, la validation et la maintenance demeurent les activités principales. La gestion de projet et la gestion de la qualité subsistent comme préoccupations transversales au processus de développement.

Plusieurs *modèles de qualité** existent et comprennent habituellement une hiérarchie d'attributs de qualité. L'ISO 9126 ([Tullis et Albert, 2008]), par exemple, est une norme internationale ayant pour but d'évaluer la qualité logicielle. Elle est composée de 6 caractéristiques visibles sur la figure 3.1. Chacune de ces dernières est divisée en sous-caractéristiques permettant de dériver des mesures objectives. Le tableau de la figure 3.2 expose les différences entre trois modèles de qualité. L'utilisabilité est l'un des attributs présents dans chaque modèle, qu'il est crucial d'évaluer pour assurer une bonne expérience utilisateur.

Definition 3. *L'utilisabilité* est la composante empirique de l'expérience utilisateur, incluant l'efficacité, la performance, la productivité, la satisfaction utilisateur, la facilité d'utilisation, d'apprentissage et de mémorisation. [Hartson et Pyla, 2012; Rubin, 1994]*

Nielsen, dans [Nielsen, 1994], définit certaines sous-qualités de façon plus détaillée :

- **efficacité** : capacité à réaliser une tâche ;
- **facilité d'apprentissage** : facilité à accomplir une tâche lors de la première utilisation ;
- **performance/rendement** : rapidité d'exécution d'une tâche lorsqu'elle est maîtrisée ;
- **facilité de mémorisation** : facilité à réutiliser une tâche après une longue absence d'utilisation ;
- **satisfaction** : plaisir ressenti à l'utilisation ;
- **minimisation des erreurs** : nombre d'erreurs issues de l'utilisation, leur gravité et leur facilité de résolution.

Raisons des problèmes d'utilisabilité

Dans [Rubin, 1994], plusieurs raisons conduisant à un manque d'utilisabilité d'un système sont suggérées. La première concerne les trois composants majeurs à considérer pour une interaction : l'humain, le contexte et l'activité. Généralement le processus de développement d'un produit se concentre trop sur le système et pas assez sur l'utilisateur final. L'auteur note également la méconnaissance des principes d'utilisabilité, pourtant réputé de "sens commun" par la plupart des concepteurs. De surcroît, même si la conception de l'interface utilisateur est bien réalisée, son implémentation requiert des compétences très différentes et l'enchaînement des deux activités n'est pas toujours satisfaisant.

Conception orientée utilisateur

Selon [Rubin, 1994], la conception orientée utilisateur représente la philosophie qui place l'utilisateur au centre du processus. Elle intègre des méthodes de conception de produits utilisables à chaque étape du développement, en gardant l'utilisateur comme principale préoccupation. Cette conception de processus, de plus en plus répandue, répond au besoin énoncé dans le paragraphe précédent.

Les trois principes de cette philosophie sont :

- se concentrer sur l'utilisateur et ses tâches le plus tôt possible ;
- collecter des mesures empiriques de l'utilisation du produit sous forme de prototype ;
- itérer sur les processus de conception en gardant des feedback de l'utilisateur.

3.2.2 L'interaction homme-machine

Definition 4. *L'interaction homme-machine* (IHM*) est déterminée dans [Hartson et Pyla, 2012] comme l'accomplissement d'une tâche grâce à une communication réciproque entre un utilisateur et un système informatique.*

Definition 5. *L'expérience utilisateur* (UX*) représente, selon [Hartson et Pyla, 2012, p.19], l'ensemble des réponses et des effets ressentis par l'utilisateur résultant de l'interaction ou de l'anticipation de l'interaction avec un système, dépendant de son contexte d'utilisation.*

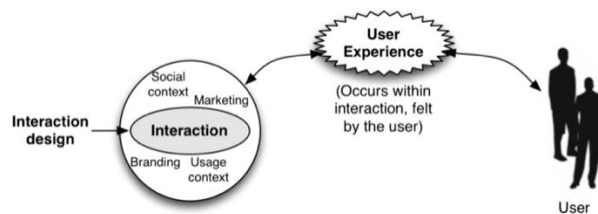


FIGURE 3.3 – Contextualisation de l'expérience utilisateur dans la conception d'interaction [Hartson et Pyla, 2012]

L'utilisabilité assure donc que l'interaction soit, entre autres, efficace, performante et satisfaisante pour l'utilisateur. La portée de l'*expérience utilisateur**, représentée sur la figure 3.3, est plus large. Elle inclut les effets ressentis par l'utilisateur en conséquence à la fois de facteurs :

- d'utilisabilité ;
- d'utilité ;
- et d'impacts émotionnels.

Cela concerne donc l'esthétique de l'interface, les sensations ressenties, la force de persuasion d'utiliser un produit ou encore les expériences déjà éprouvées qui relèvent davantage du domaine de la psychologie. Dans ce contexte, l'humain est doté, tout comme la machine : d'input, d'output et de capacité de calcul permettant d'interagir, incluant les sens, les émotions, les expériences, etc. Des modèles de cognition existent pour comprendre ces capacités humaines.

Métriques

D'après [Tullis et Albert, 2008, p.4-8], la mesure de l'utilisabilité est effectuée à l'aide de *métriques**. Par exemple, une interaction est considérée comme rapide d'après le temps de son exécution. Des standards sont définis avec de telles mesures pour caractériser des produits. Dans l'article [Balbo et Coutaz, 1994], chaque critère de qualité porte un nom, un domaine de valeurs souhaité et le moyen de le mesurer si cela est possible. Leur évaluation comprend la satisfaction ou la transgression d'une situation de référence.

Approche pluridisciplinaire

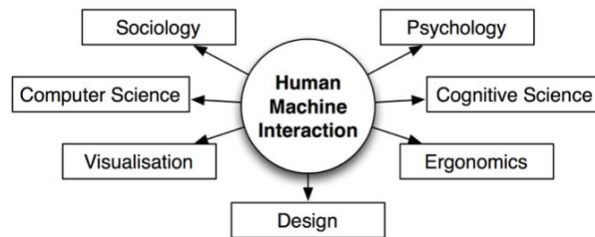


FIGURE 3.4 – Multidisciplinarité des IHM [Hartson et Pyla, 2012]

Dans [Rubin, 1994, p.13], il est considéré comme crucial d’avoir une vision partagée de l’expérience utilisateur et des domaines liés par un effort interdisciplinaire en reconnaissant les différents rôles qui communiquent et travaillent de manière synchronisée (figure 3.4). La conception d’interfaces n’est aujourd’hui plus du ressort d’une seule personne ou d’une seule profession. Cela nécessite des compétences et des connaissances variées en raison de l’abondance des facteurs à considérer : spécialistes du marketing, du multimédia, ergonomes, psychologues, ingénieurs, programmeurs, architectes, designers.

Ingénierie du logiciel et expérience utilisateur

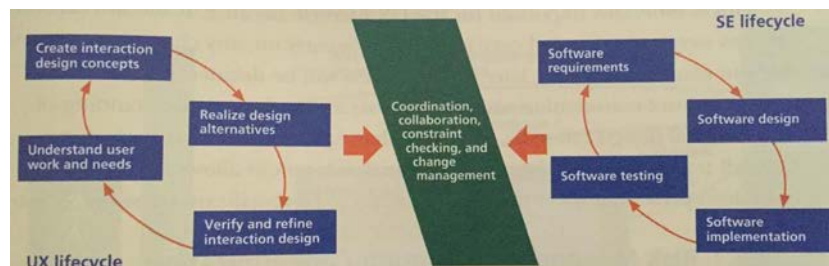


FIGURE 3.5 – Connexion entre les deux cycles de vie [Hartson et Pyla, 2012, p.823]

Comme le suggèrent [Hartson et Pyla, 2012], le développement d’un logiciel est composé de deux parties distinctes : une consacrée aux fonctionnalités et une consacrée à l’interface utilisateur (cycle de vie *UX**). Les deux cycles de vie, présentés sur la figure 3.5, partagent les mêmes activités, même si leur philosophie et leurs pratiques sont légèrement différentes. Le processus de conception d’interfaces se concentre souvent plus sur les utilisateurs, et comprend des itérations plus fréquentes. Celui-ci est pourtant souvent dénigré par la plupart des concepteurs qui ne dissocient pas les deux types de processus. La synchronisation est cruciale pour assurer le partage des points de vue et prendre conscience de la progression.

3.2.3 Ergonomie

Définition 6. *L'ergonomie** (ou l'étude des facteurs humains), d'après [Vanderdonckt et Limelette, 2005], est la discipline scientifique visant la compréhension fondamentale des interactions entre les êtres humains et les autres composantes d'un système ; et la mise en œuvre de théories, de principes, de méthodes et de données pertinentes afin d'améliorer le bien-être des hommes et l'efficacité globale des systèmes.

D'après [Johnson, 2010; Tidwell, 2010; Vanderdonckt et Limelette, 2005], afin de fournir un support à la conception d'interfaces, l'approche la plus efficace est l'évaluation de l'utilisabilité. Néanmoins, les bonnes pratiques ergonomiques sont complémentaires à cette méthode. La création de "normes ergonomiques" nécessite une réelle expertise en matière de psychologie cognitive et d'autres domaines en *IHM**.

[Dix *et al.*, 2004] met en évidence l'ergonomie comme un domaine large, distinct de l'interaction homme-machine, mais y contribuant grâce à la définition de contraintes et de standards sur la manière de concevoir des systèmes. En effet, l'étude de l'ergonomie d'un site web permet de diminuer le temps nécessaire à la réalisation de tâches et à la prise de décision, de réduire le taux d'erreurs, d'augmenter le temps d'extraction de l'information de l'interface, etc.

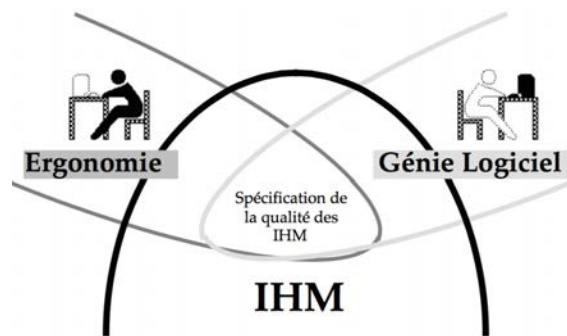


FIGURE 3.6 – L'évaluation des IHM à la croisée des techniques de l'ergonomie et de l'ingénierie du logiciel [Balbo et Coutaz, 1994]

Un utilisateur aura d'autant plus de chance de revenir sur un site si celui-ci respecte certains principes ergonomiques. Au fil des années, plusieurs auteurs et entreprises majeures (Apple, Microsoft, Oracle, etc.) se sont consacrés à la réalisation de "recommandations" de conception d'interfaces utilisateurs. Si la mesure de ces valeurs ergonomiques servent d'indicateurs objectifs, selon [Nielsen et Molich, 1994], il n'est pas évident d'apprécier d'autres éléments plus subjectifs comme le plaisir d'utilisation. La vision croisée des différentes disciplines citées est présentée à la figure 3.6.



FIGURE 3.7 – La loi de similarité¹

¹<http://blocnotes.iergo.fr/breve/motsetphrases/theorie-de-la-gestalt/>

En psychologie de la forme, les lois de la Gestalt exploitent des principes ergonomiques de perception. Selon la loi de similarité, dont un exemple est illustré sur la figure 3.7, le cerveau a tendance à rassembler des éléments semblables. La couleur est la caractéristique similaire sur cette image.

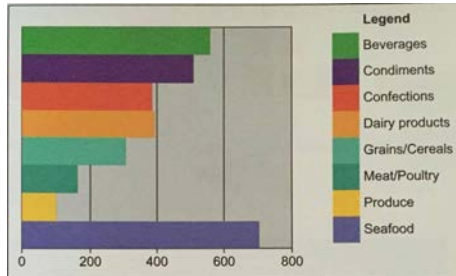


FIGURE 3.8 – Exemple de bonne ergonomie [Johnson, 2010, p.58]

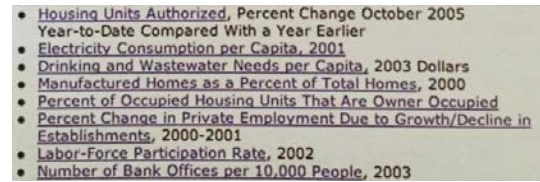


FIGURE 3.9 – Exemple de mauvaise ergonomie [Johnson, 2010, p.58]

La première figure 3.8 ci-dessus, montre un bon exemple d’ergonomie par la distinction rapide des couleurs rendue possible par la largeur des bâtonnets (et par leur arrangement). La deuxième figure 3.9 présente une mauvaise ergonomie causée par une trop faible différence de contraste entre les liens déjà visités et les autres.

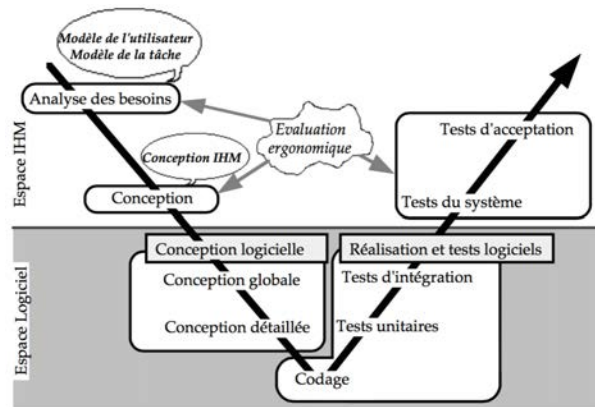


FIGURE 3.10 – Croisée des disciplines dans le modèle en V [Balbo et Coutaz, 1994]

Finalement, [Balbo et Coutaz, 1994] évoquent l’ingénierie du logiciel comme proposant un cadre structurel du processus de développement des systèmes informatiques. L’ergonomie s’inscrit dans ce cadre en des étapes bien précises. La figure 3.10 illustre cette relation dans le modèle “en V”. La partie supérieure s’appuie sur l’aspect ergonomique/IHM tandis que l’autre se concentre sur l’implémentation logicielle. L’apport de l’ergonomie et de la psychologie intervient à certaines étapes clés. Enfin, il est évident que l’évaluation ergonomique, si elle intervient uniquement en fin de processus, conduit à un désastre pour l’expérience utilisateur.

3.3 Psychologie cognitive

[Hartson et Pyla, 2012] dépeignent l'expérience utilisateur comme profondément liée à la psychologie cognitive, d'autant plus que les émotions sont un élément central. Les sciences cognitives, de manière générale, apportent un ensemble de connaissances qui permettent de mieux appréhender certains concepts du domaine de l'interaction homme-machine. Le processus d'analyse de tâches, par exemple, est utilisé pour construire des modèles prédictifs de performances.

Definition 7. *En psychologie cognitive, le **modèle mental*** est décrit dans [Carroll et al., 1987] comme une forme de représentation de la réalisation d'un phénomène afin de prédire son comportement. Son étude sert à comprendre les processus cognitifs développés lors de la résolution d'une tâche et permet d'exprimer comment les humains se comportent et prennent des décisions à partir d'observations réalisées dans un environnement. Il est l'un des concepts les plus importants en IHM*, et impacte ses principes fondamentaux.*

Ainsi, un modèle mental utilisateur peut être construit, par exemple, lors d'une navigation sur Internet. Ce modèle évolue suivant l'organisation de l'information, les objectifs de l'utilisateur, ses caractéristiques, son niveau de compétence en informatique, ses expériences, etc. Ce que les utilisateurs pensent connaître d'une interface a une grande influence sur la manière dont ils l'utilisent. L'ergonomie d'un site est estimée en disposant d'un modèle mental adapté à son utilisation. Ce dernier est construit principalement grâce à l'usage de deux notions : la visibilité et l'*affordance**.

Tableau 3.1 – Types d'affordance selon [Hartson et Pyla, 2012, p.650]

Type d'affordance	Définition	Exemple
Cognitive	Caractéristiques graphiques qui aident à la connaissance de quelque chose.	Label de bouton qui permet à l'utilisateur de comprendre ce qu'il se passe s'il clique dessus.
Physique	Caractéristiques graphiques qui aident à réaliser une action physique.	Bouton assez large pour cliquer précisément.
Sensorielle	Caractéristiques graphiques qui aident à la perception.	Couleur de texte discernable.
Fonctionnelle	Caractéristiques graphiques qui aident à accomplir une fonctionnalité.	Capacité du système à trier les données sur Excel.

La visibilité consiste à cerner facilement les possibilités, et est liée à la **perception**. Au sein d'une interface, les parties fréquemment utilisées doivent être assez visibles pour que l'utilisateur sache de quelle manière concrétiser son but en acte.

L'affordance concerne la valeur de la description de l'objet susceptible d'inciter l'utilisateur à exécuter l'action associée, et est liée à la **compréhension** et à l'intuitivité. Les termes et les icônes contenus dans une interface doivent avoir un sens significatif et approprié pour l'utilisateur. 4 sortes d'affordance sont identifiées et détaillées dans le tableau 3.1

Selon [Coutaz, 2002], ces notions sont particulièrement utiles pour la présentation de l’interface. Cette dernière définit le comportement perceptible du système. Le but est alors de déterminer la syntaxe et la sémantique la plus appropriée pour que l’utilisateur élabore un modèle mental correspondant au fonctionnement du système.

Les principes paraissent souvent relever du bon sens mais leur application n’est pas toujours évidente, surtout si les utilisateurs sont dotés de caractéristiques différentes des cas classiques. Tout objet syntaxique et sémantique, par exemple, doit disposer d’un équivalent sous forme d’objet de présentation. Lorsque c’est possible, ce choix se base sur une métaphore du monde réel. De plus, l’état du système doit toujours être explicite.

En conclusion, les sciences cognitives définissent un cadre de pensée utile. Le *modèle mental**, en particulier, permet de comprendre comment l’utilisateur interprète et manipule le système afin d’en améliorer son emploi. Il peut en effet être utilisé lors des méthodes d’évaluation ergonomique, particulièrement pour faire face aux contraintes d’accessibilité. La visibilité et l’affordance sensorielle sont des concepts essentiels pour étudier l’impact du daltonisme sur l’interaction homme-machine. Cependant, il faut prendre conscience que les modèles mentaux de l’utilisateur et du designer sont fondamentalement différents et exigent de recourir à des méthodes appropriées pour les faire correspondre. [Carroll *et al.*, 1987; Coutaz, 2002; Hartson et Pyla, 2012]

3.4 Accessibilité

Definition 8. Dans l’article [Vanderdonckt et Limelette, 2005], l’auteur désigne **l’accessibilité*** d’une interface ou d’un site web comme sa capacité à pouvoir être consulté par tous et dans toutes les conditions.

« Par tous » signifie que tout utilisateur, victime d’un handicap ou non, doit pouvoir accéder à son contenu sans contrainte. « Dans toutes les conditions » correspond à la configuration matérielle, qui ne devrait pas affecter l’interaction.

La plupart des règles d’accessibilité sont des règles ergonomiques, mais une petite partie est propre à l’accessibilité. Par exemple, on peut citer l’adaptation à la taille de l’écran et la traduction du contenu en plusieurs langues. Par contre, leurs pratiques s’opposent dès lors qu’on mesure généralement l’utilisabilité d’une interface dans un environnement particulier et avec un utilisateur particulier, alors que l’accessibilité se soucie au contraire de rendre le contenu accessible “par tous et dans toutes les conditions”.

Ainsi, la modification du *modèle mental**, décrit à la section 3.3, causée par une anomalie quelconque, permet de réaliser qu’il est important d’observer les différentes expériences utilisateur poursuivies sur le web pour l’améliorer. L’objectif est donc de n’exclure aucun individu dans la participation de la vie active, pour laquelle Internet et l’informatique en général sont devenus des éléments fondamentaux. Bien qu’il faille accorder une attention particulière aux handicaps, la difficulté est de ne pas affecter les performances des autres utilisateurs. [Johnson, 2010; Vanderdonckt et Limelette, 2005]

3.5 Impacts

D'après [Johnson, 2010; McIntyre, 2002], une déficience de vision des couleurs, détaillée au chapitre 2, peut compromettre la communication énoncée dans la définition d'*IHM**, impliquant un traitement de l'information incorrect ou moins immédiat. En effet, la croissance d'internet a conduit à former des designers, leur laissant la liberté du choix des couleurs dans la conception des pages web. Ces dernières années, la tendance vise de plus en plus à attirer l'attention de l'utilisateur en se servant de couleurs vives, notamment en s'inspirant du *flat design**. De plus, la visualisation est une technique largement utilisée sur Internet, afin de permettre à l'utilisateur "trichromate normal" de capturer l'information le plus rapidement possible. En outre, de plus en plus d'entreprises utilisent des supports informatiques, dont certains contenus ne sont pas toujours conformes à l'accessibilité, provoquant certaines difficultés à exercer un métier (cf. section 2.4.3).



FIGURE 3.11 – L'intérêt marketing de la couleur dans notre société (simulation deuteranope à droite)²

Dans la mesure où ces couleurs n'ont pas de signification sémantique propre, il n'est pas nécessaire pour un daltonien de devoir les reconnaître, bien qu'il puisse subsister un intérêt marketing et émotionnel qui n'est alors probablement pas complètement atteint. La figure 3.11 donne un aperçu de la symbolique des couleurs au cœur de la société et l'impact sur nos émotions. Cette importance suscite une opportunité à saisir pour les grandes firmes (cf. partie droite de la figure).



FIGURE 3.12 – La loi de similarité de la figure 3.7 simulée (tritanope)

Par contre, l'interaction homme-machine est plus impactée si l'information de couleur est pertinente et nécessaire pour la compréhension d'un outil informatique. Par exemple, le daltonisme pose un obstacle à la loi de similarité précitée à la section 3.2.3, comme exposé à la figure 3.12.

²<http://www.bodeanimation.com/blog/importance-of-colours-in-explainer-video-marketing>

Des composants graphiques qui ne possèdent pas d'alternative appropriée sont de ce fait considérés comme une insuffisance à l'accessibilité des sites web.

The figure displays two identical screenshots of the Budget.com website's car rental reservation form, one in standard color and one in grayscale. The form is titled 'Grab a car in 60 seconds' and includes fields for pick-up location, pick-up date/time, return date/time, and user information. The grayscale version highlights the lack of sufficient contrast between the form's components, making it difficult for users with low vision to distinguish between different elements and input fields.

FIGURE 3.13 – Exemple de formulaire problématique (vision deuteranope en dessous)³

Les figures précédentes et l'annexe C témoignent des différentes difficultés que pourrait éprouver un dyschromate lors de l'emploi d'outils informatiques. Les situations problématiques sont couramment rencontrées lors d'un remplissage de formulaire, comme pour la figure 3.13. Même si l'utilisateur est capable de réaliser la tâche souhaitée, il est probable que la performance et le confort d'utilisation soit plus faible pour un daltonien. En effet, la faible différence de contraste entre les différents composants graphiques ne devraient pas provoquer une concentration de l'utilisateur sur la partie intéressante : les erreurs empêchant la validation du formulaire.

³www.budget.com

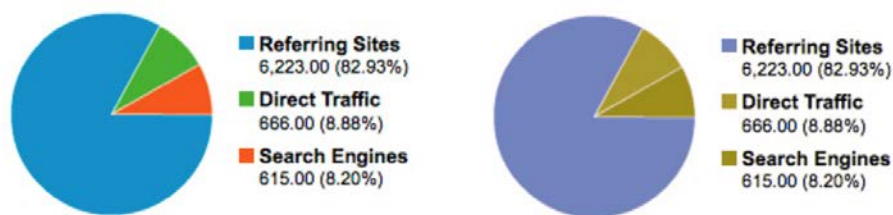


FIGURE 3.14 – Graphique du service Google Analytics (vision deuteranope à droite)⁴

D'autres problèmes plus fréquemment rencontrés concernent des préoccupations de visualisation, tels que visibles sur la figure 3.14. Les couleurs des différentes parties du graphique, même après lecture de la légende, ne suffisent pas pour communiquer les informations correctement au deuteranope.

En conclusion, les impacts du daltonisme sur l'expérience utilisateur en informatique sont nombreux. Il est nécessaire de prêter attention à cette anomalie durant la conception d'interfaces logicielles.

⁴<https://www.google.com/analytics>

Chapitre 4

Méthodologie de conception d'interfaces

4.1 Processus et activités générales

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les pratiques, méthodes et standards majeurs existants pour concevoir une interface. Malgré la diversité de littérature, les étapes du processus sont toujours identiques. Il s'agit d'un processus itératif composé d'une phase d'analyse, de conception, de prototypage et d'évaluation. Selon [Hartson et Pyla, 2012], il convient de suivre une méthodologie appropriée et de l'adapter en fonction des besoins et des ressources. Cette section expose les différentes caractéristiques communes ou spécifiques des processus imaginés par différents acteurs du domaine de l'*interaction homme-machine**.

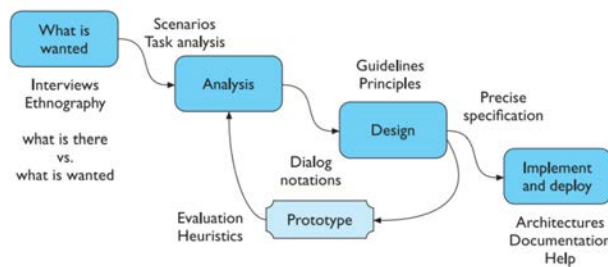


FIGURE 4.1 – Version simplifiée du processus de conception d'interfaces de [Dix et al., 2004]

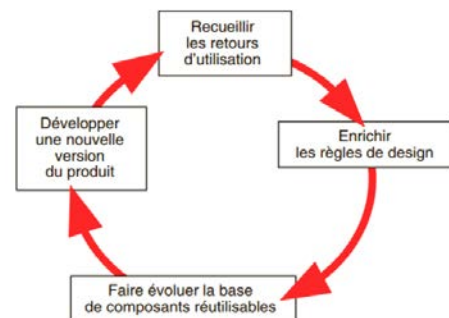


FIGURE 4.2 – Version simplifiée du processus de conception d'interfaces de [Nogier, 2008]

Processus en 4 étapes

Le processus itératif de la figure 4.1 décrit dans [Dix et al., 2004], tout comme dans [Nogier, 2008], comporte 4 phases qui s'articulent autour de l'*utilisabilité**. Celles-ci sont détaillées dans le tableau 4.1.

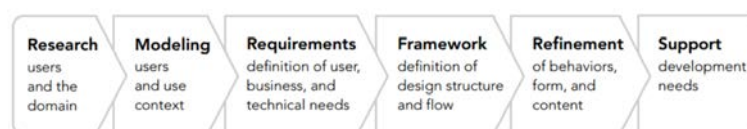
Tableau 4.1 – Les 4 étapes du processus d’après [Dix *et al.*, 2004]

Étapes	Détails
Analyse	Étape incluant des observations, des enquêtes et des interviews utilisateurs, des scénarios, des analyses de tâches, etc. Elle permet de comprendre le contexte d’interaction et connaître les attentes des utilisateurs. Cette connaissance approfondie du domaine permet d’éviter des retours en arrière et des surcoûts.
Conception	Exercice basé sur des recommandations et des principes de conception s’attardant sur les différents types d’utilisateurs. Cette étape est étroitement liée au prototypage et parfois confondue.
Prototypage	Ensemble de savoirs, d’expériences et de références guidant le travail pour réaliser un prototype dont le niveau de fidélité dépendra du type d’interface et du nombre d’itérations déjà réalisées.
Évaluation	Test utilisateur ou audit ergonomique d’une version du logiciel permettant de vérifier sa bonne mise en oeuvre et de l’améliorer. La figure 4.2 montre l’utilité des feedbacks utilisateurs en matière de réutilisabilité.

La principale préoccupation, comme dans le cas de la conception orientée utilisateur de la section 3.2.1, est l’implication des utilisateurs tout au long du processus. Les auteurs, ainsi que ceux de [Hartson et Pyla, 2012], soulignent l’importance de démarrer ce type de processus dès le début d’un projet et d’assurer une bonne communication entre les activités d’ingénierie du logiciel et de l’expérience utilisateur. [Nogier, 2008] souligne que 48 % du code (80 % pour des applications web) est consacré à l’interface utilisateur. Ils conseillent également d’affermir la compréhension des modèles cognitifs et l’organisation du travail.

Dans toute conception liée à l’interaction homme-machine, il faut connaître le système : son matériel, ses capacités et ses limitations. Néanmoins, il faut aussi connaître l’humain : sa psychologie, ses aspects sociaux, ses erreurs, etc. [Dix *et al.*, 2004] proposent des méthodes d’organisation des itérations pour prototyper et effectuer des choix sur l’organisation, la documentation et la réutilisation des principes.

Processus en 6 étapes

FIGURE 4.3 – Processus de conception ciblé [Cooper *et al.*, 2007]

[Cooper *et al.*, 2007] raffinent ce processus en 6 phases et tentent de faire correspondre les besoins et les buts utilisateurs avec les impératifs techniques et organisationnels. Le processus de conception ciblé, visible sur la figure 4.3, résulte d’une combinaison de techniques ethnographiques,

d'interviews d'utilisateurs, de recherches marketing, de modèles utilisateurs détaillés, de conceptions basées sur des scénarios ainsi que d'un ensemble de principes d'interaction. La pratique est essentielle car il faut que le concepteur évalue, juge, crée, et améliore les interfaces mais surtout que cela se fasse en collaboration avec l'équipe et les utilisateurs, comme dans le cas du processus affiché sur la figure 4.1. Le tableau 4.2 résume ce processus en 6 étapes.

Tableau 4.2 – Les 6 étapes du processus d'après [Cooper *et al.*, 2007]

Étapes	Détails
Recherche	Observations, interviews utilisateur et revue de la littérature existante fournissant un modèle de comportement.
Modélisation	Utilisation des personas, modélisation du domaine, des artefacts et de l'environnement.
Exigences	Identifiées par des scénario en se focalisant sur les personas et pas sur utilisateur pour minimiser les efforts.
Structuration	définition du comportement, de la structure et de la forme visuelle de l'interface. Deux outils : principes et modèles de conception d'interaction.
Raffinement	attention particulière sur la cohérence avec des scénarios de cheminement et de validation (plus de détails sur les chartes graphiques, couleurs, tailles etc).
Support	aide au développement pour la résolution de problèmes, priorisation du travail, compromis, adaptation, respect des délais etc.

En revanche, Jenifer Tidwell, dans son ouvrage [Tidwell, 2010], nuance l'intérêt accordé à l'intégration de l'utilisateur. En pratique, les concepteurs n'ont souvent pas le temps et le budget nécessaire pour organiser une recherche approfondie et se contentent de quelques utilisateurs et quelques modèles de comportements pour concevoir et évaluer leurs interfaces.

Processus flexible

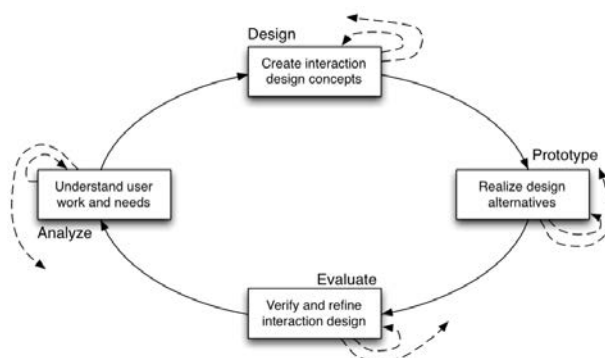


FIGURE 4.4 – Processus de conception d'interfaces d'après [Hartson et Pyla, 2012]

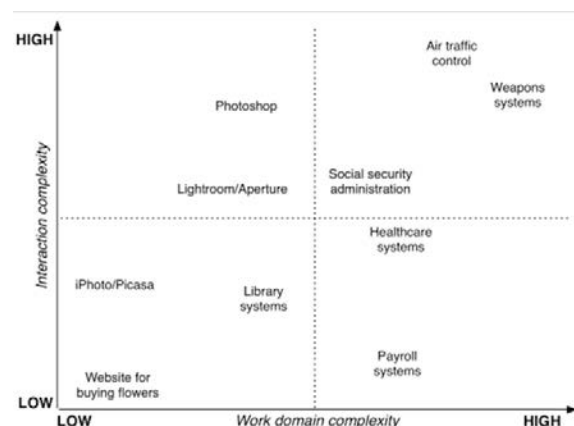


FIGURE 4.5 – Espace de complexité des systèmes [Hartson et Pyla, 2012]

[Hartson et Pyla, 2012] confirment ces propos et proposent un processus flexible (cf. figure 4.4) en fonction d'un espace de complexité des systèmes, visible à la figure 4.5. Cette complexité est de deux types : celle du domaine (de l'environnement de travail) et celle de l'interaction à réaliser. De manière générale, au plus un système est complexe, au plus la méthodologie à appliquer pour concevoir son interface est rigoureuse.

4.2 Activités de l'étape d'analyse

4.2.1 Enquête contextuelle

Tableau 4.3 – Recommandations pour l'enquête contextuelle selon [Hartson et Pyla, 2012; Nogier, 2008]

Utilisateur expert	L'utilisateur devrait être considéré comme expert du domaine.
Contexte	Il est crucial de s'en tenir à un environnement propre à l'utilisateur pour observer ses habitudes et les contournements potentiels des erreurs dont il ne serait pas forcément conscient. Un environnement différent pourrait biaiser les résultats.
Préparation	Il est important de préparer un protocole semi-guidé avec une liste de questions initiales.
Transparence	Expliquer clairement l'objectif de l'enquête et entretenir une confiance avec les sujets.
Équipe	L'équipe pour l'enquête devrait être composée de 2 à 8 personnes dont un interviewer, une personne responsable des notes et une autre de l'enregistrement des observations par caméra.
Prise de notes	Les notes constituent la première source d'information et devraient être réalisées sur papier. Un ordinateur est un obstacle avec l'interlocuteur.
Observations approfondies	La plupart des informations sont généralement dissimulées. Il ne faut pas se contenter de demander à l'utilisateur ce qu'il fait ou ce qu'il sait. Seules les données contextuelles résultantes des observations donnent un résultat objectif.
Minimum d'intervention	Le moins possible d'interventions de l'interviewer doit s'opérer pendant les observations.
Neutralité	Les informations ne doivent pas découler d'une interprétation mais demeurer des données brutes pour ne pas altérer l'objectivité.
Vision simplifiée	Il faut prendre conscience que l'étude n'offre qu'une vision réduite des tâches et des pratiques des utilisateurs. Certains éléments peuvent être découverts après l'enquête. La durée est d'environ 45 minutes, mais pour des systèmes complexes, le processus peut durer plus longtemps (2 jours).

Selon [Hartson et Pyla, 2012] et [Nogier, 2008], l'enquête contextuelle est un processus empirique utilisé pour éliciter et rassembler les données concernant le domaine d'activité des utilisateurs potentiels du système. Le but est de comprendre en profondeur, d'organiser et de communiquer les besoins, les tâches et les exigences.

Le premier objectif est d'identifier le domaine ou le système existant à analyser. L'enquête à réaliser ensuite est constituée d'une phase d'interview et d'une phase d'observations dans le contexte d'utilisation du participant. La première permet de recueillir des informations subjectives et la deuxième des données plus objectives. Le tableau 4.3 comprend un ensemble de recommandations pour mener à bien cette enquête.

4.2.2 Enquête utilisateurs

D'après [Tullis et Albert, 2008], l'enquête utilisateurs consiste en un questionnaire de satisfaction à transmettre à un ensemble d'utilisateurs représentatifs. Les questions ouvertes sont à éviter et une attention particulière est accordée à la formulation. Un outil statistique est habituellement utilisé pour analyser les données.

4.2.3 Focus Group

D'après [Hartson et Pyla, 2012], la pratique du "focus group" repose sur une réunion entre plusieurs intervenants et sert à construire un consensus sur la vision du domaine de travail grâce à la cohésion sociale. Elle est facilement réalisable mais les résultats sont plutôt subjectifs. Trois phases, guidées par un modérateur, sont identifiées :

- (1) **introduction** : présentation des objectifs et des règles ;
- (2) **réalisation** : dialogues et activités ;
- (3) **clotûre** : reformulation des idées et vérification.

4.2.4 Analyse contextuelle

Tableau 4.5 – Conseil d'écriture des notes d'activité selon [Hartson et Pyla, 2012]

Synthèse	Notes claires, concises (une seule idée par note) et sans répétition.
Complétude	Notes dénuées d'ambiguïtés et d'inconnues.
Données brutes	Pas d'interprétation à ce niveau.
Perspective	Perspective déclarative et orientée utilisateur ("je").
Tag d'identification	Garder la trace de la personne interviewée, le rôle, le numéro de la note etc.

L'analyse contextuelle, selon [Hartson et Pyla, 2012], suit l'étape d'enquête contextuelle pour systématiquement consolider, interpréter et communiquer les données. Généralement, la première phase de l'analyse consiste à écrire des notes du point de vue de l'utilisateur pour documenter et récupérer le plus d'informations possibles provenant de l'étude. Quelques conseils d'écriture sont énoncés dans le tableau 4.5.

WAAD : Work Activity Affinity Diagram

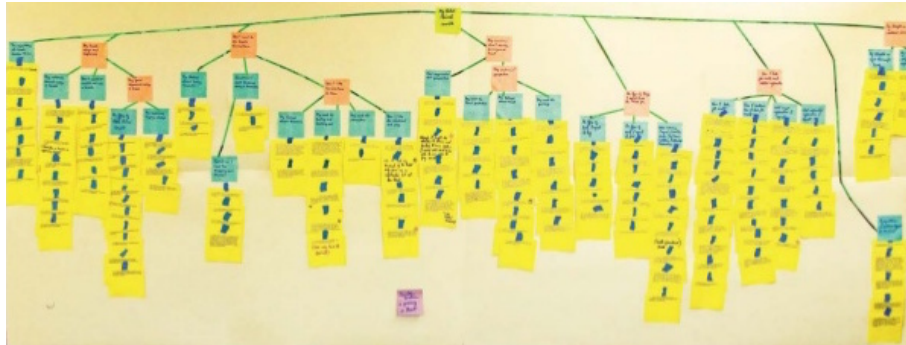


FIGURE 4.6 – Exemple de WAAD [Hartson et Pyla, 2012]

Le WAAD, dont un exemple est présenté à la figure 4.6, est un diagramme d'affinité permettant de rassembler et d'organiser les idées de manière à visualiser plus facilement les thèmes importants. L'idée principale est donc de trouver le critère de similarité adéquat pour chaque groupe de notes. Si le nombre de notes excède 15, il faut généralement les diviser. L'organisation permet de faire des “super-groupes” au fur et à mesure de l'activité et d'accorder un label particulier à chacun. La communication est facilitée et permet de suggérer plus aisément des idées d'exigences pour la conception.

Extraction d'exigences

L'extraction d'exigences est un processus d'analyse déductive pour extraire les exigences de l'utilisateur final à partir d'une bonne compréhension du contexte et des tâches. L'objectif est de former un document final cohérent intégré, composé d'une terminologie standardisée. Les instructions doivent décrire le moyen de supporter les besoins en fournissant une conception d'interaction. Elles sont écrites dans cette perspective utilisateur type : “L'utilisateur devrait pouvoir ...”.

L'ensemble de ces techniques d'analyse peuvent parfaitement se chevaucher et être exécutées plus ou moins rapidement en fonction des ressources accordées au projet.

4.2.5 Design-informing models

Les modèles d'informations et de conception, détaillés dans [Hartson et Pyla, 2012], sont des outils plutôt orientés design qui résument les données contextuelles et peuvent apporter une aide à la compréhension et à la communication pour guider la conception à un haut niveau d'abstraction. Ils comprennent des scénarios, des modélisations de domaine, des descriptions de tâches etc. Cela permet souvent d'exposer les limitations dans les interactions. Ils peuvent servir comme livrables intermédiaires. Seulement ceux qui sont utiles au système à analyser sont sélectionnés et adaptés. Il ne s'agit donc pas de lignes de conduite à suivre systématiquement.

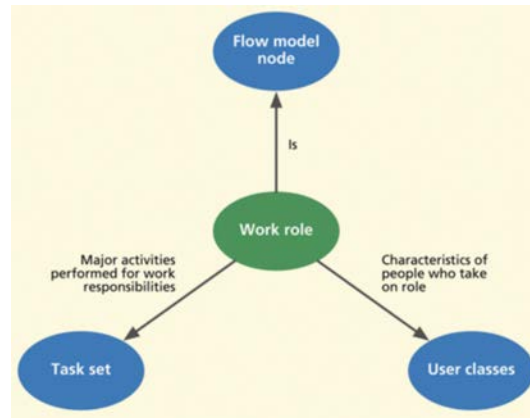


FIGURE 4.7 – Rôle de travail selon [Hartson et Pyla, 2012]

Modèles orientés utilisateurs

Les modèles de **rôles de travail** comprennent une identification des responsabilités des utilisateurs et des hiérarchies, internes ou externes à l'organisation (cf. figure 4.7).

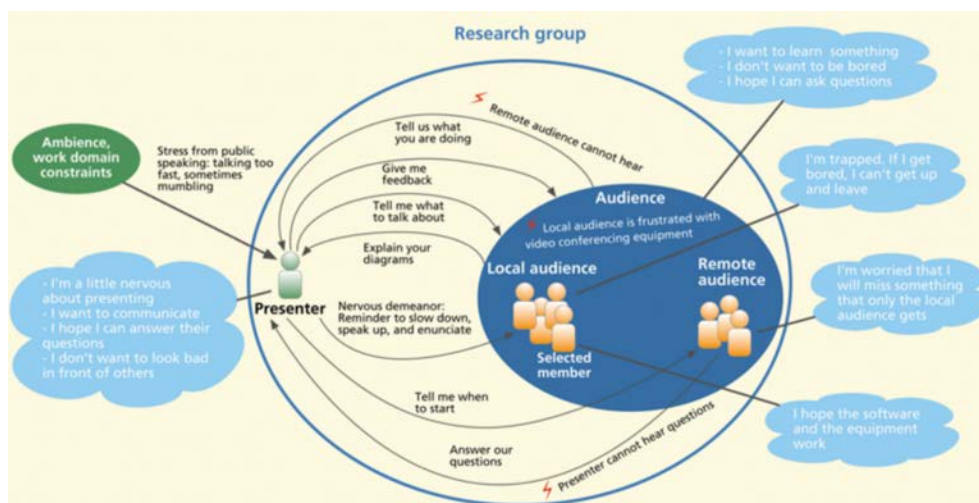


FIGURE 4.8 – Exemple de modèle social [Hartson et Pyla, 2012]

Les classes utilisateur sont des descriptions de caractéristiques pertinentes à identifier à propos des différents types d'utilisateurs en fonction de leurs rôles. Les caractéristiques sont de 3 sortes :

- (1) **compétences/connaissances** : diplôme, expertise etc. ;
- (2) **niveau d'expérience** : novice, intermédiaire, expert (par rapport au domaine) ;
- (3) **physiologie** : handicap, âge, capacité etc.

Le modèle social est un modèle, dont un exemple affiché sur la figure 4.8, utilisé pour trouver des moyens d'améliorer la communication dans un environnement social. Il est composé de :

- **entités** : noeuds du schéma représentant des acteurs ;
- **attributs** : préoccupations, caractéristiques, objectifs ou problèmes de l'entité ;
- **relations** entre entités : influences, comportements sociaux (autorité, contraintes etc.).

Modèles orientés utilisation

Le modèle de flux est un modèle orienté utilisation donnant une overview des informations et des flux, composée d'une frontière interne/externe à l'organisation. Il est utile afin d'améliorer les processus et les relations entre acteurs et systèmes. Il comprend des noeuds correspondant aux rôles de travail définis (cf. figure 4.7).

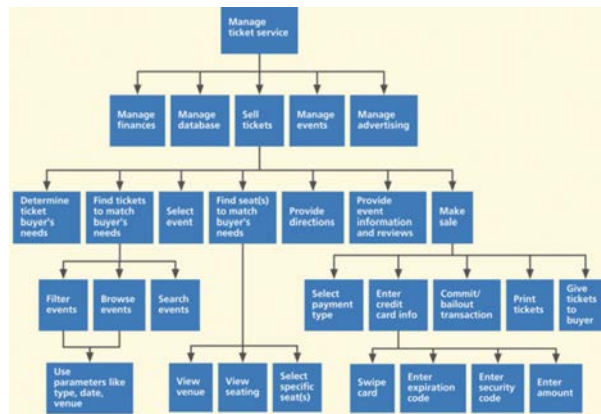


FIGURE 4.9 – Exemple de modèle de structure des tâches [Hartson et Pyla, 2012]

Le modèle de structure des tâches est un inventaire hiérarchique de tâches à supporter (cf. figure 4.9). Cela peut être considéré comme une check-list à compléter pour connaître l'état de couverture des actions et des fonctionnalités envisageables.

Le modèle d'interaction des tâches consiste à détailler les étapes et les actions à réaliser afin de les réduire ou de les automatiser. Il s'agit d'une compréhension rigoureuse de la réalisation des tâches. Les acteurs, leurs objectifs, difficultés et actions sont plus facilement révélés.

User intention	System responsibility
1. Ticket seller to computer: express intention to pay	2. Request to insert card
3. Ticket seller: insert card	4. Request to remove card quickly
5. Withdraw card	6. Read card information
	7. Summarize transaction and cost
	8. Request signature
9. Write signature	10. Conclude transaction
	11. Issue receipt
12. Take receipt	

FIGURE 4.10 – Exemple de scénarios de cas d'utilisation [Hartson et Pyla, 2012]

Plusieurs niveaux d'abstraction et de style existent pour ce type de modèle. **Les scénarios** sont des histoires de personnes spécifiques réalisant des tâches dans une situation et un contexte spécifiques, contée avec un style narratif. **Le modèle en séquence** est, lui, une description moins narrative mais détaillée de chaque séquence d'action et des performances des utilisateurs. Finalement, les “**scénarios de cas d'utilisation**” (Use Case Scenario en anglais) constituent des descriptions plus abstraites des étapes de réalisation de tâches et d'interaction selon le point de vue à la fois de l'utilisateur et à la fois du système (cf. exemple à la figure 4.10). La méthode d'écriture dépend seulement de la volonté de l'auteur.

En général, le scénario est composé de :

- un titre ;
- le/les acteur(s)/utilisateur(s) ;
- une description générale du scénario et des objectifs ;
- les pré-conditions (état initial du système avant l'exécution) ;
- le flux d'action (cf. exemple 4.10) ;
- les post-conditions (état résultant du système après l'exécution) ;
- le(s) flux(s) alternatif(s) d'exécution, qui diffèrent légèrement du cas «normal» d'utilisation présenté.

Modèles d'environnement des tâches

Le modèle d'artefact est un modèle d'environnement des tâches s'intéressant à l'organisation des éléments tangibles et la structuration des flux de réalisation des tâches dans leur contexte. Il est particulièrement utile afin de mieux comprendre les blocages dans de mauvaises organisations.

Le modèle physique, pour finir, permet d'identifier l'environnement physique supportant les tâches et les problèmes rencontrés.

4.3 Activités de l'étape de conception

4.3.1 Tri par cartes

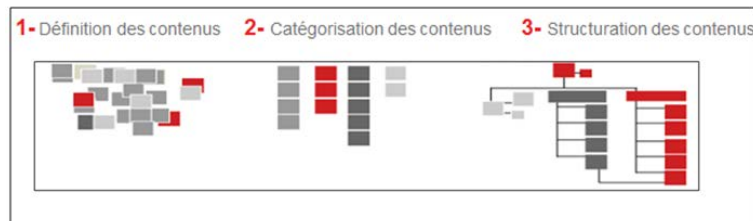


FIGURE 4.11 – Étapes de création du tri par cartes¹

D'après [Nogier, 2008], le tri par cartes est une méthode ergonomique efficace pour organiser l'architecture de l'information. Elle est généralement réalisée en début de phase de conception.

La méthode est réalisée en plusieurs étapes. La première consiste à écrire sur des cartes ou des post-it, par groupe ou individuellement, des termes, des concepts et des actions de tâches à réaliser. Les cartes se composent d'un titre et d'une description neutre et détaillée. Elles sont ensuite distribuées et la cohérence de leurs titres est validée, sinon ils sont renommés. La seconde phase repose sur le regroupement des cartes par caractéristique commune. En dernier lieu, il est d'usage de nommer chacun des groupes et créer une hiérarchie complète.

La méthode permet de s'attarder particulièrement sur la représentation mentale que les utilisateurs se font de l'application. L'organisation du contenu de l'interface est ainsi réalisée, avec par exemple :

- la structure des menus ;
- l'arborescence des éléments de l'interface ;
- la détermination d'une terminologie commune concernant le contenu informatif ;
- le regroupement et la classification des fonctionnalités.

4.3.2 Persona

Selon [Bornet et Brangier, 2013] et [Nogier, 2008], les personas sont utilisés pour imaginer des types d'utilisateurs et permettre de concevoir et d'évaluer des interfaces en adoptant leur point de vue et leur comportement. Un persona représente de manière fictive une personne spécifique avec ses caractéristiques et ses rôles. Bornet montre par une étude que la technique a une influence positive en valorisant la créativité, la prise de recul et le changement de perspective. Les personas permettent de manière visible de continuellement garder à l'esprit la personne pour qui on désire concevoir la solution.

¹<http://www.imarklab.com/2014/07/les-5-principes-base-comprendre-tri-cartes-test-darborescence/>

	Identité
	Prénom nom : Laurent Brun Âge : 43 ans Profession : Cadre Situation familiale : marié Niveau en informatique : usage courant au travail mais limité aux logiciels de bureautique.
	Caractéristiques
	<ul style="list-style-type: none"> • Leader • A l'habitude de donner des ordres dans son travail • Souhaite faire gagner du temps à son équipe • Souhaite réduire les coûts administratifs • N'aime pas gaspiller son temps
Objectifs	Scénarios
<ul style="list-style-type: none"> • Economiser sur les frais administratifs • Simplifier la gestion des contrats et des factures 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chercher sur internet un outil ou prestataire pour simplifier certaines tâches 2. Trouver le site de l'outil 3. Utiliser la version gratuite pour vérifier si ça correspond à ses besoins et si c'est simple à appréhender et à utiliser au quotidien 4. Vérifier les prix et calculer le budget pour un tel outil 5. Adopter l'outil et créer un compte pour chaque membre de l'équipe

© tonvarchambeau.com

FIGURE 4.12 – Exemple de persona²

L'auteur identifie plusieurs étapes pour la création des personas. La première consiste à rechercher de l'information de manière directe (observations, interviews) ou indirecte (littératures, experts) afin d'établir des profils d'utilisateurs. La seconde est l'identification des objectifs et des comportements communs. Ensuite, un choix du type et du nombre de personas est effectué. Un nombre limité est préférable (3 à 7). Il faut distinguer les types primaires et secondaires afin de prioriser le développement. Le but ultime serait de se concentrer sur un seul persona représentatif afin de le satisfaire complètement sans délaisser les autres. Il vaut mieux, selon [Hartson et Pyla, 2012], qu'une seule partie de la population soit ciblée. En dernier lieu, l'intégration du contenu, composé d'une identité, des objectifs, des comportements et des contextes d'utilisation, est réalisée (cf. exemple de la figure 4.12).

[Chapman et Milham, 2006], au contraire, déduisent de leurs travaux que la méthode ne devrait pas être utilisée car les personas n'ont pas de relation avec les données en situation réelle et leur validité est impossible à vérifier. En outre, leurs interprétations divergentes favorisent les conflits au sein des équipes de développement.

4.3.3 Ideation et Sketching

D'après [Hartson et Pyla, 2012], l'étape de conception peut se décomposer en plusieurs phases raffinant le design, avec différents niveaux d'abstraction. Le "design thinking" est préliminaire au "design conceptuel", pour déboucher sur une conception plus détaillée dans la suite des itérations.

Les techniques d'"Ideation et Sketching" sont la première étape. Il s'agit d'un brainstorming pour lequel, après une overview sur le sujet, chacun participe à une discussion qui aboutit à des créations de croquis à partir d'idées partagées. Une critique est ensuite opérée pour permettre de réitérer le processus et d'améliorer la conception rapidement et de manière peu coûteuse.

Les dessins sont habituellement réalisés à main levée dans le but d'exprimer les idées de design dans les concepts plutôt que dans les détails. Cette façon de communiquer assure en pratique une

²<http://tonyarchambeau.com/blog/621-fiche-persona/>

liberté puisqu'il n'est pas contraignant de jeter l'ébauche et qu'il n'y a pas besoin d'être spécialiste pour dessiner.

L'activité de conception s'intéresse à plusieurs domaines :

- **l'ingénierie de l'utilisabilité**, qui permet de concevoir une interaction de meilleure qualité avec les ressources disponibles et en dressant un inventaire des fonctionnalités ;
- **les sciences cognitives**, déjà explorées à la section 3.3 de la page 24, qui servent à définir des recommandations ergonomiques résultant de la réflexion sur des modèles mentaux ;
- **le domaine phénoménologique**, qui s'attache plus particulièrement aux émotions, aux expériences ressenties, et à l'environnement social et culturel.

4.3.4 Normes ergonomiques et bonnes pratiques de conception

[Shneiderman et Plaisant, 2005] identifie 3 formes de solutions méthodologiques pour faire face aux problèmes d'interface.

Les Théories décrivent des objets et des actions de manière compréhensible dans un objectif de communication et d'enseignement.

Les bonnes pratiques permettent de résoudre certains problèmes de conception grâce à des expériences et des études empiriques passées. Cela fournit des exemples et des contre-exemples qui favorisent le dialogue entre designers.

Les principes de conception abordent des problématiques de manière plus méthodique. Cela nécessite de juger l'influence de l'expérience utilisateur et d'effectuer des choix pour prioriser les qualités d'une interface.

L'auteur admet également 3 piliers contribuant au succès du processus de conception d'interfaces :

1. **bonnes pratiques, théories et modèles ;**
2. **outils et prototypes ;**
3. **évaluation UX* experte et tests utilisateurs.**

Les normes et bonnes pratiques ergonomiques, dont le domaine est présenté à la section 3.2.3, sont nombreuses dans la littérature. Les recommandations sont issues de résultats expérimentaux, de sens commun, d'expériences pratiques ou de prédictions issues de théories basées sur la psychologie cognitive (cf. section 3.3) ou les activités humaines. Il est impossible de présenter toutes les règles d'*ergonomie** dans ce travail, à cause de leur étendue et de leur redondance liée au fait que chaque source tente d'aborder le problème à sa manière. Cette partie propose une synthèse de l'ensemble des règles et des bonnes pratiques provenant des ouvrages [Bastien *et al.*, 1998; Hartson et Pyla, 2012; Leclercq *et al.*, 2015; Nielsen et Molich, 1994; Norman, 2013; Shneiderman et Plaisant, 2005; Vanderdonckt, 1994].

Maintenir la cohérence

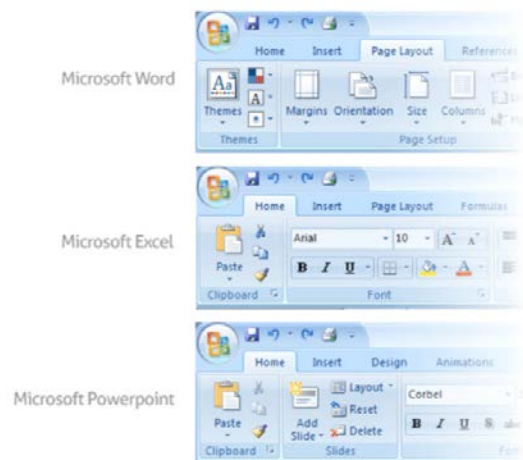


FIGURE 4.13 – Structure normalisée de logiciels Microsoft [Dumas, 2014]

Une bonne pratique est d'utiliser des modèles et des terminologies identiques pour des situations similaires. Il faut suivre les conventions afin de ne pas embrouiller l'utilisateur. La figure 4.13 montre un bon exemple de cohérence à travers différentes applications.

Utiliser les connaissances mentales

Il est idéal de transmettre assez d'informations de manière visible, pour en faire une construction mentale permettant d'accomplir une tâche précise (utilisation de métaphores et respect des principes cognitifs de la section 3.3).

Il s'agit de respecter le principe de **visibilité** en montrant ce que peut faire le système. Il faut également prêter attention à la lisibilité des informations.

De plus, le respect du principe d'**affordance*** est important. Il s'agit de l'association correcte entre l'intention de l'utilisateur et la représentation de la tâche. Le langage utilisé doit être par conséquent adapté pour être proche de l'utilisateur et non du système.

S'il n'existe pas d'association naturelle entre une tâche et sa représentation pour l'utilisateur, il faut **standardiser** de manière à construire un *modèle mental** à réutiliser.

Simplification de la structure de tâche

Il est utile d'éviter toute complexité impliquant une charge excessive de mémoire à court terme :

- en profitant d'un affichage simple ;
- en réduisant les successions de fenêtres ;
- en automatisant certaines tâches sans perte de contrôle ;
- en laissant un temps suffisant d'apprentissage, etc.

Sign Up
It's free and takes less than 30 seconds.

Your First Name

Your Last Name

Email

Password

Confirm Password

☐ I agree to the [Terms of Use](#).

FIGURE 4.14 – Exemple de formulaire [Tidwell, 2010]

L'exemple de la figure 4.14 est une simplification de la structure de l'interface, grâce à un affichage simplifié; les labels de type “Your first Name” sont placés à l'intérieur des champs de texte. Ils profitent également de l'affordance cognitive en affichant des icônes qui font sens à la majorité des usagers, et en utilisant un code couleur qui permet à l'utilisateur de se rendre compte où il se situe pour entrer du texte.

Utilisation des raccourcis

Utiliser des raccourcis afin d'effectuer des tâches plus rapidement est une bonne pratique. Cette règle peut être adaptée pour fournir des raccourcis aux plus experts et des explications d'aide aux plus débutants, ce qui rend l'interaction plus flexible.

Indications pour l'utilisateur



FIGURE 4.15 – Indication de progression d'une tâche [Dumas, 2014]

Il est crucial de guider l'utilisateur lors d'actions à effectuer pour une tâche précise. Il faut l'aider à se situer dans la progression des tâches (cf. exemple à la figure 4.15) et donner des informations d'accomplissement qui lui permet de soulager sa mémoire pour la suite.

Feedback

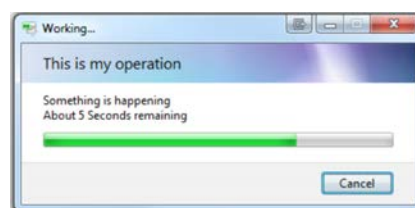


FIGURE 4.16 – Exemple d'état de système affiché à l'utilisateur [Dumas, 2014]

Un conseil supplémentaire est de fournir des retours d'informations pour des actions effectuées, principalement si elles sont d'une importance majeure et pas fréquentes. L'utilisateur est de cette manière tenu au courant de l'état permanent du système, comme le montre par exemple la figure 4.16.

Réversibilité

Il est important de faciliter l'annulation des actions. La figure (4.16) montre aussi un exemple d'annulation. Ce principe encourage l'utilisateur à explorer les options et maintient une confiance avec le système.

Prévention d'erreurs

La prévention d'erreur ou l'affichage d'un message compréhensible si ce n'est pas possible sont recommandés pour mieux gérer les fautes.

Liberté de contrôle

Pouvoir contrôler l'interface librement et en obtenir des réponses permet également de faciliter l'exploration du contenu.

Aide et documentation

Il est nécessaire de fournir une aide même s'il est préférable qu'une interaction puisse s'en passer. L'information doit être facile à trouver, minimaliste, concentrée sur une tâche et en expliquer chaque étape.

Outre ces recommandations, un vaste ensemble de documents reconnus relatifs à la gestion de la qualité, comme les normes ISO, existent et peuvent amener à des certifications. Chaque catégorie de normes aborde un aspect particulier de la qualité. En effet, la norme ISO 9241-12, par exemple, concerne la présentation de l'information, tandis que le document ISO 9241-17 couvre le remplissage de formulaires.

Aspect esthétique

Par ailleurs, l'étude de l'ergonomie à elle seule ne suffit pas. Tidwell, dans son ouvrage [Tidwell, 2010] qui recense un ensemble de principes ergonomiques munis d'exemples pour chacun, affirme également que l'aspect esthétique est d'une importance souvent sous-estimée. L'attractivité visuelle encourage l'utilisateur à se servir d'une application. Celui-ci a tendance à pardonner plus facilement les lacunes et les défauts d'une plus belle interface. "En 2002, une équipe de chercheurs a mené le Stanford Web Credibility Project. Il en ressort que le facteur le plus important pour un utilisateur n'est pas la qualité, le renom ou le service rendu par un site web mais son aspect" [Tidwell, 2010].

4.4 Activités de l'étape de prototypage

D'après [Dix *et al.*, 2004; Hartson et Pyla, 2012; Shneiderman et Plaisant, 2005], cette phase est souvent fusionnée avec la phase de conception. Son but est d'évaluer une ébauche du produit à concevoir avant l'interface finale. Il s'agit du pilier de l'itération et le meilleur moyen de prévenir et corriger des erreurs de conception. Le prototype est à réaliser au plus tôt afin d'avoir une idée de départ et de démarrer la communication avec chacune des parties prenantes.

Selon [Nielsen et Molich, 1994] et [Hartson et Pyla, 2012], plusieurs sortes de prototypes existent. Ils sont détaillés dans les paragraphes suivants.

Prototypes horizontaux

Les prototypes horizontaux donnent une bonne overview de l'interface à concevoir, en montrant plusieurs caractéristiques de celle-ci mais sans trop les implémenter. Ainsi, ce type de prototype est idéal pour une conception préliminaire à présenter. Cependant, ils peuvent difficilement être évalués car il n'y a généralement qu'une partie graphique statique, sans workflow complet.

Prototypes verticaux

Les prototypes verticaux implémentent au contraire seulement quelques caractéristiques mais de manière détaillée. L'interactivité est habituellement plus présente, ce qui permet de tester plus précisément certaines parties de l'interface à concevoir. L'évaluation de l'*expérience utilisateur** est donc plus réaliste.

Prototypes en T

La combinaison des deux précédents types correspondent à la plupart des prototypes. Il s'agit de réaliser un prototype composé de plusieurs fonctionnalités développées de manière approfondie.

Prototypes locaux

La concentration du prototypage sur une petite partie de l'interface consiste à évaluer différentes alternatives avec beaucoup de détails.



FIGURE 4.17 – Prototype du plus bas niveau de fidélité au plus haut [Dix *et al.*, 2004]

Tableau 4.6 – Niveau de fidélité d’un prototype [Dix *et al.*, 2004]

Niveau de fidélité	Caractéristiques
Basse	<ul style="list-style-type: none"> • Format papier. • Pas très fidèle. • Très abstrait : l’interface n’est pas surchargée, mais les contraintes techniques impliquent qu’il y a une différence d’interaction avec la future interface. • Peu coûteux, permettant de tester la conception au plus tôt. • Rapide et efficace.
Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> • Souvent sous forme de wireframes. • Bon compromis de fidélité par rapport à l’effort réalisé. • Populaire. • Importance sur l’aspect de disposition.
Haute	<ul style="list-style-type: none"> • “Pixel-perfect”. • Interface détaillée. • Alternative moins coûteuse que la programmation. • Le plus efficace pour les démonstrations et les tests d’utilisabilité.

[Dix *et al.*, 2004] conseillent d’explorer de nouvelles idées d’interfaces tant que le niveau de qualité nécessaire n’est pas atteint. Cette acceptation est une appréciation liée à l’expérience. Selon l’itération et le niveau de conception, différents niveaux de fidélité de prototype, visible à la figure 4.17, subsistent. Ils sont détaillés dans le tableau 4.6.

Les auteurs distinguent les interfaces passives, non-cliquables, dont on ne peut pas tester efficacement les fonctionnalités, des interfaces plus interactives. Une ébauche d’interface programmé est également considéré comme un prototype fonctionnel. Ils sont pertinents car ils permettent à la fois d’être réutilisés à la fois au fur et à mesure des évaluations et pour le produit final.

4.5 Activités de l'étape d'évaluation

4.5.1 Tests d'utilisabilité

D'après [Nogier, 2008] et la définition de l'*utilisabilité** de la section 3.2.1, le test d'une interface est censé valider le fait qu'un utilisateur puisse réaliser une tâche en consommant le minimum de ressources et qu'il soit satisfait de cette interaction. L'évaluation du niveau d'utilisabilité porte sur la réalisation d'une tâche simple ou complexe. Elle se base sur des observations, des interviews ou des enregistrements de l'utilisation de l'interface. La méthode est considérée comme la plus efficace pour évaluer une application. Au-delà de l'utilisabilité, les évaluations concernent l'identification et la correction des problèmes de l'*expérience utilisateur**. Elles comprennent les méthodes d'évaluations formatives et summatives informelles (expliquées ci-dessous).

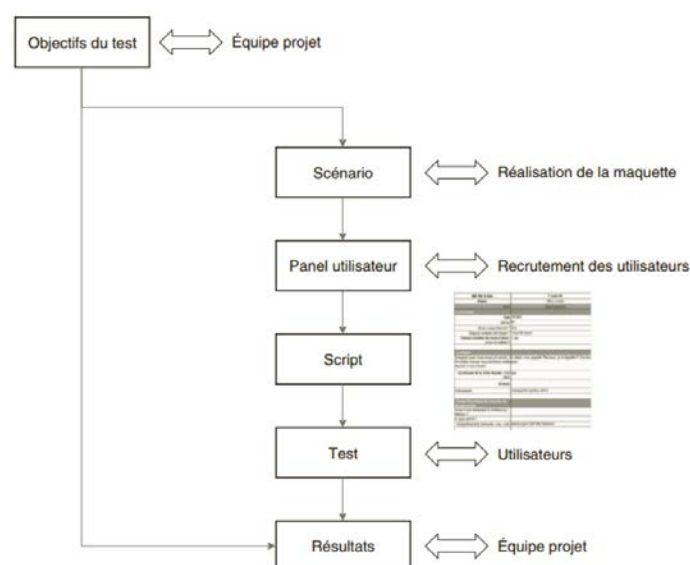


FIGURE 4.18 – Le protocole de test de [Nogier, 2008]

Protocole

Nogier, dans [Nogier, 2008] identifie plusieurs éléments, visibles sur le schéma de la figure 4.18, pour former un protocole de test. Le premier est une définition claire des objectifs et des hypothèses. Des scénarios et des mesures sont définis pour vérifier les hypothèses. La participation d'un ensemble suffisamment complet d'utilisateurs représentatifs doit être planifiée. Un script correspondant à un protocole pour mener l'évaluation doit être réalisé de manière identique auprès de chaque participant. Généralement, les tâches critiques sont préparées, et après une familiarisation avec le système, le test est semi-guidé. L'enregistrement audio ou vidéo, ainsi que les notes d'interviews et d'observations sont les deux principaux outils de capture d'informations. Une analyse des résultats, de préférence basée sur un travail statistique rigoureux, est finalement effectuée.

Catégorie de test

Tableau 4.7 – Comparaison entre plusieurs sortes de tests

<p>Tests d'acceptation : tests garantissant la satisfaction des spécifications pour des projets de grande envergure. Chaque critère est soumis à une acceptation, sans forcément requérir la contribution de l'utilisateur.</p>	<p>Tests d'utilisabilité : méthode d'évaluation empirique, réalisée avec un utilisateur.</p>
<p>Évaluations formatives : évaluations qui guident les améliorations à entrevoir dans un apprentissage continu à partir d'une analyse de l'évaluation. Les données résultantes sont souvent qualitatives (sans mesure numérique précise). Le diagnostic est assez rapide et efficace mais ne permet pas toujours d'assurer l'objectivité.</p>	<p>Évaluations summatives : évaluations qui mesurent le niveau de réussite par comparaison à des standards. La certification du niveau de qualité est déterminée par des données quantitatives (des métriques numériques). Elle est assurée par une rigueur plus importante que les évaluations formatives. Cependant, deux types d'évaluations summatives existent : formelles et informelles. Elles se différencient par le degré de rigueur et le nombre de participants, plus élevés pour les tests formels.</p>
<p>Méthodes d'évaluations rapides : processus rapides, peu coûteux et moins efficaces mais permettant d'obtenir un retour d'informations généralement suffisant. Elles offrent plus de flexibilité. Le RITE (Rapid Iterative Test and Evaluation) est l'une d'entre elles, comprenant un cycle de test et correction. Elle permet de changer rapidement l'implémentation afin de réévaluer directement le prototype. Les erreurs à réimplémenter sont définies par ordre de priorité et de difficulté de correction.</p>	<p>Méthodes d'évaluations rigoureuses : processus de tests complexes, longs et rigoureux permettant d'assurer le moins d'erreurs possibles, une efficacité et une couverture de tests optimales. Les évaluations se déroulent généralement en laboratoire et se basent sur des métriques pour assurer l'objectivité. Elles se développent en 3 étapes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. préparation : sélection des tâches, des participants et des équipements ; 2. session : protocole et collecte de données ; 3. analyse de données.
<p>Tests in situ : l'environnement de l'utilisateur est souvent un critère suffisamment pertinent pour encourager des tests in situ, c'est-à-dire dans les conditions habituelles d'utilisation.</p>	<p>Tests en laboratoire : tests dans un environnement offrant une plus grande liberté au niveau du matériel.</p>
<p>Tests within-subject : évaluation de conditions différentes pour un même utilisateur. Le biais possible est celui de la mémorisation.</p>	<p>Tests between-subject : évaluation de conditions différentes avec des utilisateurs différents. Deux contraintes en découlent : des comportements différents entre personnes et un plus grand nombre de participants requis.</p>

Il faut distinguer, selon [Nogier, 2008] et [Hartson et Pyla, 2012], plusieurs types de tests, détaillés dans le tableau 4.7.

Tableau 4.8 – Types de tests identifiés dans [Shneiderman et Plaisant, 2005]

Types de tests	Détails
Tests de maquettes en papier	Tests rapides, peu coûteux, et généralement très productifs.
Tests d'utilisabilité au rabais	Tests dont les seules données recueillies sont qualitatives.
Tests d'utilisabilité compétitifs	Processus rigoureux, quantitatif et within-subject mené par une comparaison d'applications concurrentes.
Tests d'utilisabilité universels	Très grande diversité d'utilisateurs, de matériels, de navigateurs, etc. Souvent utilisés pour des applications internationales afin d'assurer un succès en toute situation.
Tests d'utilisabilité distants	Large panel d'utilisateurs et de configurations différentes mais la technique est moins rigoureuse (largement utilisés pour des services web).
Crash tests	Tests utiles pour trouver les failles d'une interface.

Les tests utilisateurs se portent sur des prototypes plus ou moins complets (cf. section 4.4) pour évaluer soit la perception, soit la navigation et la réalisation de tâches. [Shneiderman et Plaisant, 2005] identifient également plusieurs catégories de tests, présentés dans le tableau 4.8.

Recommandations

Les auteurs de [Cooper *et al.*, 2007; Dix *et al.*, 2004; Hartson et Pyla, 2012], dans leurs analyses concernant la conception d'interactions, font un certain nombre de recommandations afin de réaliser des tests utilisateurs de qualité. Celles-ci sont détaillées dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9 – Recommandations concernant les tests utilisateurs [Cooper *et al.*, 2007; Dix *et al.*, 2004; Hartson et Pyla, 2012]

Moment de test	Commencer les tests assez tard pour avoir du contenu à évaluer et suffisamment tôt pour anticiper plus rapidement des modifications.
Objet de test	Prendre conscience que l'on teste le système et non l'utilisateur.
Nombre de participants	3 à 5 participants sont suffisants pour identifier 80 % des problèmes, bien que cela dépende de la complexité du système.
Personas	L'utilisation de la technique des personas et l'élaboration de scénarios peuvent aider à appréhender les tests et mieux définir les critères à évaluer, d'après [Nogier, 2008].
Évaluation et non création	Les tests ne sont pas censés créer de nouvelles fonctionnalités mais seulement les évaluer.
Planification	Il faut planifier rigoureusement la session et le parcours d'un fil conducteur incluant les questions et tâches primordiales.
Modérateur	Il est utile de bénéficier d'un modérateur en retrait du projet pour ne pas empêcher de critiquer, mais impliquer les concepteurs.
Adaptation	Adapter les tests au contexte et à l'utilisateur, et se concentrer sur les comportements de l'utilisateur.
Verbalisation	Technique qualitative qui requiert l'accomplissement d'une tâche précise en exprimant ses pensées à haute voix. Le sujet affirme son intention, la description de son action et l'attente du résultat à obtenir. L'inconvénient est qu'il est parfois fatigant pour l'utilisateur de devoir réaliser cette habitude, ce qui peut affecter la performance.
Identification des problèmes	Il est nécessaire d'identifier les problèmes et explorer leurs raisons durant le test en discutant avec le participant. Ces incidents peuvent être perçus par l'observation d'erreurs évidentes, d'hésitations, de commentaires ou encore de gestes nerveux comme un balancement de tête.
Observation physiologique	Selon [Dix <i>et al.</i> , 2004], des données telles que les battements de coeur, la respiration ou celles provenant d'eye-tracking sont des indicateurs incontournables à exploiter.

La fidélité du concepteur à ces pratiques dépend de la complexité du projet et de l'objectif de l'évaluation.

Métriques et analyse de données

D'après [Tullis et Albert, 2008] et [Hartson et Pyla, 2012], une *métrique** UX est une valeur objective issue d'une mesure pratiquée lors d'une évaluation avec un ou des utilisateurs. Par exemple,

afin de mesurer la “facilité lors d’une première utilisation”, on peut se servir de la métrique du “temps de réalisation d’une tâche”, qui donne une valeur précise.

Les éléments suivant constituent des métriques :

- temps de réalisation d’une tâche ;
- nombre d’erreurs ;
- fréquence d’erreurs ;
- pourcentage de réussite et d’erreur ;
- sévérité de l’erreur ;
- temps de correction ;
- fréquence d’aide ;
- nombre de clicks ;
- nombre d’étapes nécessaires pour compléter une tâche ;
- rapport de satisfaction ;
- temps passé à bouger le curseur.

Les types de données collectées sont diverses :

- **objectives** : observées réellement ;
- **subjectives** : relatives aux opinions, aux expériences ;
- **quantitatives** : numériques, notes (objectives ou subjectives) ;
- **qualitatives** : descriptions non-numériques ;
- **autres** : indicateurs émotionnels, biométriques, expressions faciales, gestuelles, mouvements oculaires, etc.

Avec l’aide de ces données, différentes analyses sont pratiquées, souvent basées sur des outils statistiques et des graphiques si l’on veut aboutir à une meilleure visualisation et communication. La rigueur de l’analyse dépend de la nécessité de l’évaluation stricte du prototype et de la complexité du projet. Cette étape débouche alors sur une nouvelle itération recommençant à la phase proprement dite d’analyse du domaine, en vue d’une amélioration progressive.

Limitations

Les tests présentés ne se font pas sur du long terme, alors que dans les faits, l’utilisation d’une interface s’effectue tous les jours. D’autre part, il est difficile de couvrir toutes les fonctionnalités pour obtenir une estimation fiable. En outre, il est coûteux et complexe d’analyser rigoureusement les données.

Guerrilla Usability Testing

Par manque de budget et de temps, la pratique “Guerrilla Usability Testing” peut être réalisée bien qu’elle n’apporte pas une bonne rigueur statistique. Il s’agit d’une méthode d’évaluation informelle et “sauvage” à bas coût pour laquelle on va chercher des testeurs n’importe où : cafés, stations de métro, espaces publics, etc. Il est nécessaire de définir correctement l’objectif, les cibles et le protocole du test pour planifier des sessions tout au long du développement et obtenir des retours d’informations rapides. Cette approche peut valider des concepts ou des esquisses très tôt durant la conception. Cependant, il faut prendre conscience des différentes limites résultantes [Tomeo, 2012].

4.5.2 Audit ergonomique

[Dix *et al.*, 2004] décrivent l’audit ergonomique comme un exercice d’analyse d’un prototype, basé sur des critères ergonomiques reconnus et l’expérience d’un expert externe au projet. La pratique sert à identifier les zones causant des difficultés lors d’une *expérience utilisateur**, dues à la violation des principes ergonomiques, définis à la section 4.3, ou à l’ignorance de résultats empiriques. Il s’agit par conséquent d’une méthode d’évaluation analytique.

[Hartson et Pyla, 2012] distinguent le “**Design Walkthrough**” de “**l’inspection UX**”, plus rigoureuse. En effet, la première technique permet d’explorer l’interface en simulant la vision qu’aurait l’utilisateur en faisant le même test. Différents scénarios sont envisagés pour capturer les tâches, les attentes, les intentions, les problèmes et les pensées potentiels. Il est donc conseillé de bien prendre en compte le profil et les motivations de l’utilisateur type. Ce processus est plus facile et rapide que la deuxième pratique.

En effet, un expert est un coût en terme de temps et de budget. L’inspection UX, selon [Nogier, 2008], se fait généralement à l’aide d’une grille de critères ergonomiques pour connaître la couverture précise de l’évaluation sur chaque composant du système. Elle porte sur la cohérence, les polices, les couleurs, les formats de données, les terminologies, les cheminements cognitifs, etc.

Les problèmes résultants à améliorer sont priorisés dans un rapport par leurs niveaux d’importance et leurs fréquence d’apparition. Le degré peut être :

- mineur : ennuyant mais sans trop d’incidences ;
- gênant : implique une perte de temps ;
- bloquant : empêche la réalisation d’une tâche.

En réalité, la tâche d’analyse est souvent pratiquée par un designer ou un novice dans le domaine de l’UX. Il se base alors sur un ensemble de bonnes pratiques ergonomiques, comme celles édifiées par Nielsen dans [Nielsen et Molich, 1994]. Cette approche est plutôt considérée comme une heuristique.

Grâce à certains outils, il est aussi possible d’analyser un logiciel pour vérifier et valider automatiquement un ensemble de règles ergonomiques. L’audit ne peut pas être totalement remplacé mais cela apporte une aide qui n’est pas négligeable pour réduire les efforts.

4.5.3 Questionnaire de satisfaction

[Shneiderman et Plaisant, 2005] et [Tullis et Albert, 2008] conseillent de préparer les tests utilisateurs en s'appuyant sur des questionnaires de satisfaction, qu'ils soient d'ordre qualitatif ou quantitatif. Il s'agit, par exemple, de donner une note sur une échelle de 1 à 5 concernant sa satisfaction.

En guise d'exemple, le "Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)" détaillent l'interface (menu, icônes) et les interactions, soulevant des problèmes d'accomplissement de tâches [Chin *et al.*, 1988]. Le "Software Usability Measurement Inventory" permet de mesurer la perception d'un utilisateur, ses actions, son efficacité et son contrôle [Lewis, 1995]. Tandis que le "WAMMI Web Usability Questionnaire" est spécifique aux applications web [Claridge et Kirakowski, 2013].

4.6 Limites

La focalisation sur l'utilisabilité est parfois nuisible pour plusieurs raisons explicitées dans [Shneiderman et Plaisant, 2005]. Les méthodologies présentées ne sont pas de réelles sciences, bien qu'elles se basent parfois sur certains principes scientifiques. De plus, la validation de l'utilisabilité est parfois employée comme preuve alors que son but se porte plutôt sur l'amélioration des prototypes. Des idées risqueraient d'être éliminées alors qu'elles s'avèreraient efficaces par la suite. Le principe à favoriser est plutôt de garder toutes les idées et de les comparer.

Par ailleurs, l'utilisabilité n'est pas tout. Certaines innovations peuvent émerger seulement grâce à leur utilité ou en fonction de la mode. Elles peuvent être largement acceptées malgré leur faible utilisabilité, bien qu'à long terme cet aspect semble plus déterminant.

L'intégration de l'utilisateur tout au long du processus est crucial. En complément des explications de la section 3.2.2, les aspects culturels et émotionnels ont aussi leur potentiel à considérer. L'expérience ressentie par l'utilisateur influence son interaction avec la machine. La documentation des exigences, des objectifs et des choix effectués durant le processus est également importante.

Enfin, les prises de recul et la flexibilité sont, avant toute chose, recommandées. Il est possible que ces méthodes ne s'avèrent pas totalement appropriées dans le cas d'un problème d'accessibilité à prendre en compte, comme par exemple une déficience de vision des couleurs (cf. chapitre 2).

Deuxième partie

Contribution

Chapitre 5

Adaptation de la méthodologie

5.1 Approche

Comme tout problème lié à l'*accessibilité**, une déficience de vision des couleurs, dont la problématique est abordée au chapitre 2, a une influence non négligeable sur l'*interaction homme-machine**, dont certains aspects sont évoqués au chapitre 3. Au vu des difficultés engendrées, il est possible et même recommandé de reconsidérer les méthodes de conception d'interfaces.

En vue de rendre une interface compatible avec une déficience de vision des couleurs, deux approches complémentaires sont envisageables :

1. **En amont** : fournir aux développeurs une aide ou des recommandations ergonomiques pour prendre conscience du problème dès le début de la conception de chaque site web.
2. **En aval** : apporter une aide aux utilisateurs sur l'ensemble des interfaces pour faire face au problème sur certaines d'entre elles "mal conçues".

Ce chapitre a pour objectif de développer la première démarche en adaptant et en enrichissant la méthodologie de conception d'interfaces résumée au chapitre 4. Il est à noter que les auteurs, cités dans le précédent chapitre, abordent déjà ce principe de flexibilité dans le processus. Ils prévoient des adaptations mais ne les détaillent pas en ce qui concerne l'accessibilité. La méthodologie qui suit vise à combler ce manque en intégrant la question de l'impact du daltonisme sur les méthodes de conception d'interfaces.

Elle provient d'une réflexion personnelle appuyée par des recherches aboutissant à l'état de l'art de la partie précédente de ce mémoire et par des constatations à propos du développement réel d'un logiciel (mené lors d'un stage). L'intérêt principal est de connaître la bonne manière d'aborder le problème.

Si l'on intègre les contraintes propres au daltonisme (ou tout autre problème d'accessibilité) dès le début du processus de création d'interface, ce dernier devrait se dérouler également en 4 phases (cf. figure 4.4). Cependant, la phase d'analyse est généralement plus longue et comprendrait alors deux parties. De même, avant de démarrer le processus, il est nécessaire de déterminer les choix méthodologiques en fonction des contraintes environnementales (budget, temps) et de l'espace de

complexité des systèmes. Le niveau d'influence de l'accessibilité est probablement aussi un facteur à prendre en compte dans la mise en oeuvre de la méthodologie. Une synthèse des flux de processus à développer est présentée à la figure 5.1. Elle comprend un ajustement des méthodes classiques avec pour divergences majeures les éléments affichées en rouge.

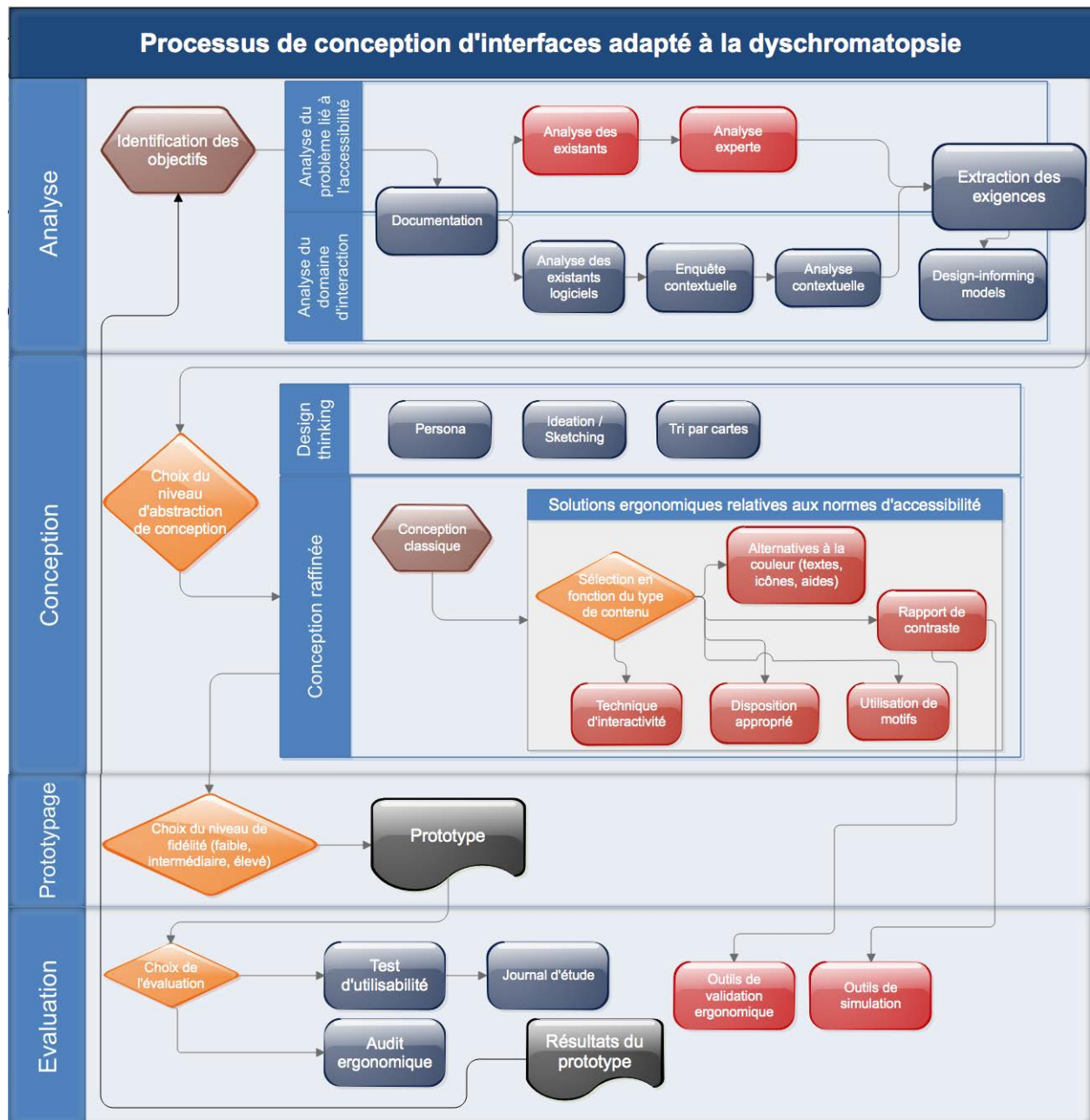


FIGURE 5.1 – Synthèse du processus de conception d'interfaces adapté

5.2 Méthodes d'analyse

Que cela concerne n'importe quel type d'interface, l'étape d'analyse est cruciale. Elle permettrait de comprendre le domaine et de commencer un projet sur une base solide. Les systèmes plus complexes allongent certainement cette partie et se basent sur un plus grand nombre de méthodes rigoureuses d'analyse. Cependant, même les systèmes simples qui prennent en compte un problème d'accessibilité devrait comporter une analyse étendue et celle-ci devrait se décliner en 2 sous-types d'analyses :

1. **analyse du problème lié à l'accessibilité ;**
2. **analyse du domaine d'interaction.**

Cette distinction devrait faciliter l'étape d'analyse globale. En effet, une compréhension approfondie du problème, en premier lieu, est une bonne manière de préparer une analyse plus complète sur le domaine d'interaction, plus propre à la technologie à implémenter. De cette façon, la deuxième catégorie d'analyse valide généralement les hypothèses résultantes de la première.

Ces analyses permettent de mieux appréhender la façon dont on devrait aider un daltonien dans son interaction. Cela inclut non seulement la compréhension des situations bloquantes, mais également la prise en compte des facteurs psychologiques et émotionnels s'ils ont une importance.

Les méthodes ci-après sont généralement des étapes qui se succèdent. Néanmoins, certaines peuvent se superposer ou même ne pas être appliquées. Le processus demeure flexible, de la même manière que celui du chapitre 4.

5.2.1 Documentation scientifique

Dans un premier temps, il est généralement préférable de se consacrer à une recherche de documents scientifiques relatifs au sujet à étudier. Cette première étape devrait permettre une ébauche de l'analyse du problème d'accessibilité. Dans la plupart des cas, il s'agit surtout de se faire une première impression sur les contraintes d'accessibilité à prendre en compte dans le futur travail, constituant une avancée pour l'analyse de première catégorie, énoncée ci-dessus. Cependant, certaines recherches peuvent être composées de documentations ayant déjà trait au domaine d'interaction spécifique.

L'objectif est donc, comme pour la phase d'analyse traditionnelle, de comprendre l'interaction des utilisateurs dans leur environnement, leurs buts, leurs tâches et leurs difficultés. Néanmoins la séparation entre deux analyses permet de s'intéresser particulièrement aux impacts potentiels qu'une déficience peut avoir sur l'interaction homme-machine, sans forcément analyser directement le contexte d'utilisation. Plus cette analyse est réalisée tôt et correctement, plus la méthodologie est réévaluée et implique moins d'effort lors de la réalisation des prototypes.

Cela permet, entre autres, de réaliser l'ampleur du problème et de savoir s'il y a un intérêt particulier pour trouver une solution. Dans le cas particulier du chapitre 2, on peut comprendre que 8% des hommes sont daltoniens. Par ailleurs, l'impact sur l'informatique n'est pas aussi considérable que la cécité et est parfois mal compris. C'est pourquoi il est probable que peu de solutions existent.

Pourtant, si l'analyse est approfondie, les difficultés se révèlent bien présentes, surtout en ce qui concerne les performances de réalisation. Cependant, elles sont moins facilement compréhensibles pour les concepteurs.

5.2.2 Analyse des existants

L'analyse des existants, parfois résultante d'une recherche de documents scientifiques, est une approche courante en *ingénierie du logiciel** lorsqu'il s'agit de concevoir un nouveau produit. Cette deuxième méthode comprend plusieurs types d'analyses. En effet, la recherche d'existants est un domaine large. Parfois, il s'agit de trouver une manière de venir en aide à un problème d'accessibilité, sans pour autant que cela soit, par exemple, un outil informatique. Cette démarche s'approche donc du premier type d'analyse.

Par contre, un existant peut s'avérer très proche des exigences de conception. S'il s'agit d'un logiciel par exemple, et qu'en outre, il offre une documentation détaillée sur la manière dont il a été conçu, alors le deuxième type d'analyse est plutôt désigné. Grâce à ce type d'approche, des tests utilisateurs (cf. section 4.5.1) peuvent être planifiés en vue d'analyser le domaine d'interaction de l'existant, dans le but d'apporter des informations préliminaires sur la manière de concevoir l'interface.

La recherche de solutions existantes, qu'elles soient informatiques ou non, permet d'élaborer une perspective d'amélioration de l'accessibilité. Dans la plupart des cas, il est possible d'adapter ces solutions. En guise d'exemple, l'étude des répercussions du daltonisme sur le spectre chromatique et l'étude des problèmes quotidiens peuvent amener à corriger le problème comme la personne a l'habitude de le faire. "Une personne daltonienne s'intéresse plus particulièrement aux formes et à la luminosité qu'à la nuance de couleur elle-même" (cf. sections 2.4.1, 2.4.3 et 2.6).

5.2.3 Analyse experte du problème

Si le cas d'accessibilité porte un intérêt particulier, il serait utile de bénéficier d'un avis expert sur la question. L'interview d'un spécialiste apporte des informations plus précises, moins contestables et complémentaires aux autres méthodes. Cette approche est assurément une méthode d'analyse du premier type (analyse du problème d'accessibilité).

Le cas du daltonisme, par exemple, est complexe et nécessite cette consultation. Cependant, peu d'experts se penchent réellement sur le sujet, ce qui rend le domaine de recherche ouvert. Un ophtalmologue, un physicien ou un ergonome peuvent toutefois renseigner certaines informations utiles vis-à-vis de la conception d'une interface pour les daltoniens.

5.2.4 Enquête contextuelle

L'enquête contextuelle est composée d'interviews et d'observations de l'utilisateur dans le contexte d'interaction du système à concevoir, ou un équivalent. Il s'agit donc du deuxième type d'analyse. Contrairement aux trois précédentes méthodes théoriques, celle-ci est plutôt empirique.

Il serait idéal comme première phase de cette approche d'avoir une connaissance profonde du type et du niveau d'importance par rapport au problème d'accessibilité visé pour chaque sujet avant l'enquête. Ce savoir peut être profitable à la fois à la compréhension du problème, et à la fois à l'analyse du domaine. Les trois méthodes énoncées précédemment, contribuant à l'analyse du problème d'accessibilité, sont donc généralement antérieures à cette enquête. L'importance de considérer ces particularités induit une difficulté supplémentaire à la technique développée à la section 4.2.1.

Des utilisateurs daltoniens sont requis lors de cette étape pour élargir l'ensemble des utilisateurs cibles. Cette étude est indispensable pour rendre les données objectives puisque seuls les utilisateurs réels ont le potentiel pour valider l'interaction. Néanmoins, cette interaction est particulièrement difficile à comprendre lorsque l'interviewer n'a pas les mêmes caractéristiques et les mêmes comportements.

Verbalisation

La technique de verbalisation, déjà évoquée à la section 4.9, est par conséquent d'un intérêt majeur. Elle sert à comprendre ce que l'utilisateur pense et que le modérateur ne peut pas forcément comprendre.

Métriques

Une attention particulière devrait également être accordée à la rigueur des observations. Ces dernières peuvent être appuyées par différentes métriques. En effet, dans un cas d'accessibilité, une tâche est généralement satisfaite en termes d'efficacité mais pas en termes de performance. Le temps de réalisation d'une tâche ou le nombre d'erreurs peuvent alors être calculées pour observer plus précisément les différences de performances.

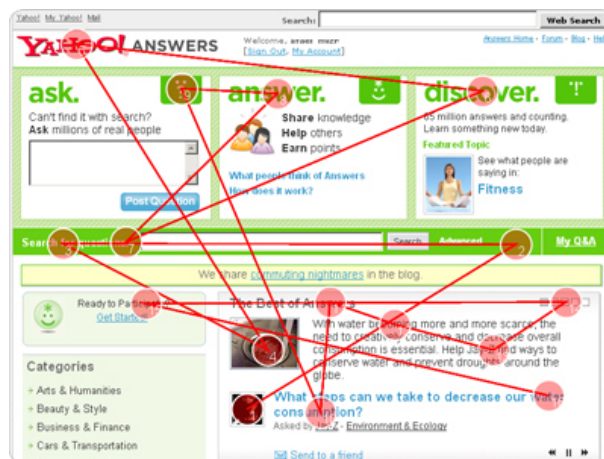


FIGURE 5.2 – Exemple de tracking réalisé avec un oculomètre¹

¹<http://feng-gui.com>

Eye-tracking

Des indicateurs physiologiques comme les données provenant d'un oculomètre (cf. figure 5.2) sont à considérer, selon [Tullis et Albert, 2008]. L'oculométrie permet de mesurer la position et les mouvements du regard et donc de repérer si un élément est vu et compris. La technique donne une mesure objective de la perception réelle qu'ont les utilisateurs d'un système. A long terme, il est possible de comparer un ensemble d'expériences utilisateur pour élaborer des modèles de bonne *ergonomie**. A plus court terme, l'identification des problèmes est facilitée et leurs corrections peuvent être validées. Par contre, l'analyse de ces données demande beaucoup plus de temps et de compétences. Il est donc essentiel d'employer cette technique avec précaution et seulement comme complément à d'autres méthodes.

Enquête à distance

S'il s'agit d'un site web par exemple, une alternative est de réaliser des tests plus importants à distance, avec plus d'utilisateurs. Il est possible de leur demander de noter chacun des problèmes rencontrés au quotidien. L'inconvénient demeure la subjectivité des résultats.

Vision simplifiée

En dernier lieu, il convient de prendre conscience de la faible couverture des enquêtes. En plus de la probabilité de ne pas choisir un protocole adéquat, il n'est pas possible de couvrir toutes les situations. Par conséquent, d'autres méthodes d'analyse sont complémentaires ou préférées.

5.2.5 Analyse contextuelle

L'analyse contextuelle, succédant immédiatement à l'enquête contextuelle, n'est pas différente de celui de la section 4.2.4 si ce n'est en ce qui concerne la prise en compte des variantes ergonomiques qui peuvent subvenir aux besoins de l'accessibilité. Il est alors nécessaire de créer des exigences qui conviennent plus spécifiquement à l'anomalie. Cette étape est flexible et, en fonction du projet, peut être réduite à l'extraction des exigences sans diagramme d'affinité.

5.2.6 Design-informing models

Comme expliqué à la section 4.2.5, les modèles de conception-information sont employés après les méthodes d'analyses précédentes et servent d'intermédiaires à l'étape de conception. Dans un contexte d'accessibilité, ils ne sont pas tous nécessaires. Certains seulement sont particulièrement efficaces. Ils permettent de présenter les problèmes d'interaction de manière visuelle sous forme de modèle. Leur conception n'est pas différente d'un cas classique. Toutefois, il est certainement plus approprié dans ce contexte de concevoir un modèle avec l'aide de données contextuelles issues des enquêtes.

Les modèles orientés utilisateur

Les modèles orientés utilisateur sont particulièrement intéressants puisqu'ils permettent de comprendre de manière précise l'identité de l'utilisateur et comment il devrait interagir avec le système. Les rôles de travail et les classes utilisateurs dressent un portrait précis des usagers potentiels et de leurs caractéristiques. La particularité est de pouvoir mieux définir le problème d'accessibilité et de répondre aux questions suivantes :

- Qui sont les utilisateurs ?
- Quel est l'intérêt du programme pour les utilisateurs ?
- Quels sont les problèmes de l'utilisateur ? Qu'aimerait-il améliorer dans son interaction ?
- Quels sont les compétences de l'utilisateur ? Y a-t-il différents types d'utilisateurs ?
- Comment les utilisateurs se représentent l'information ?
- Comment le programme devrait s'adapter ?

Le modèle social apporte certaines informations supplémentaires sur l'environnement social et sur les difficultés à rencontrer si le domaine est plus complexe.

Les modèles orientés utilisation

Concernant les modèles orientés utilisation, les scénarios, comme le modèle d'interaction des tâches, devraient constituer de bons principes pour détailler la compréhension de l'interaction avec le système. Les scénarios à exploiter devraient être adaptés pour prévoir des situations d'interaction problématiques dans le cas du daltonisme. Ils peuvent être considérés comme des extensions à chaque scénario de cas d'utilisation "classique" étudié. Cela devrait permettre de simplifier les tâches lors de la conception. Le modèle de structuration des tâches peut éventuellement être employé afin de situer la couverture des solutions aux différents problèmes.

5.3 Méthodes de conception

Comme à la section 4.3 du chapitre 4, les activités de conception peuvent être nombreuses et décomposées en plusieurs niveaux d'abstraction en fonction de la complexité du travail et de l'itération poursuivie. Lors d'une production, les méthodes qui suivent ne sont donc pas toujours organisées d'une manière strictement ordonnée.

5.3.1 Design Thinking

La première phase suivie durant l'activité de conception d'interfaces, le "design thinking", devrait permettre l'exploration des solutions. Cette conception doit prendre compte des contraintes d'accessibilité. Elle peut dès lors se baser sur des connaissances provenant des sciences cognitives (cf. section 3.3 sur les modèles mentaux, l'affordance, etc.). Les perspectives émotionnelles et psychologiques, notamment, sont à étudier car elles devraient avoir un impact significatif sur l'*expérience utilisateur**.

La difficulté majeure de l'activité est de pouvoir offrir une conception facilement utilisable à la fois par les daltoniens et à la fois par le reste des utilisateurs potentiels. En outre, il est particulièrement compliqué de s'intéresser à un problème dont l'influence est totalement incertaine. Quand bien même l'étape d'analyse précédente est rigoureuse, l'implémentation d'un prototype ne donnera jamais un résultat irréfutable. Les méthodes de conception et d'évaluation ont pour but de compenser au maximum ce défaut.

Personas

La technique des personas, détaillée à la section 4.3.2, est utilisée pour imaginer des types d'utilisateurs et concevoir en adoptant leur point de vue. Dans le cas du daltonisme, elle permet de se pencher véritablement sur les besoins spécifiques et de les communiquer de manière claire et simple. En revanche, cette pratique ne semble pas du tout adaptée. En effet, il est impossible d'imaginer l'interaction de l'utilisateur à cause des difficultés de compréhension du problème d'accessibilité. Seule l'utilisation en situation réelle recense ces contraintes.

Créer un persona, basé sur des données vérifiées objectivement et empiriquement, est par contre plus convenable. En effet, il est possible, suite aux méthodes d'enquête et d'analyse contextuelles des sections 5.2.4 et 5.2.5, d'obtenir des données réelles. Si celles-ci s'avèrent correctes, les besoins recensés peuvent enrichir la construction d'un persona et rendre cette technique plus efficace.

Ideation et Sketching

Le brainstorming réalisé lors de cette étape, détaillé à la section 4.3.3, peut s'articuler entre autres sur les problèmes d'accessibilité. Par ailleurs, il vaut mieux ne pas concentrer trop d'effort sur une conception trop complète si les maquettes ne sont pas encore testées par des utilisateurs daltoniens ou par une analyse rigoureuse de l'ergonomie.

Tri par cartes

Le tri par carte (cf. figure 4.3.1), s'il intervient dans la conception, comprend un intérêt particulier pour la structure du contenu et des éléments graphiques. Cette organisation devrait prendre en considération les impacts relatifs au daltonisme en interaction homme-machine pour améliorer l'ergonomie dès la conception. Par exemple, les contraintes liées aux couleurs à attribuer à chaque composant d'une interface peuvent être explicitées durant l'étape de structuration. Ces choix amènent à une première réflexion sur les différentes solutions ergonomiques adaptées à chaque situation.

5.3.2 Normes d'accessibilité relatives à la *dyschromatopsie**

Bien qu'elles puissent être utiles, les méthodes qui précèdent demeurent limitées dans un cas d'accessibilité. Il est impossible de se mettre totalement à la place de l'utilisateur pour imaginer la solution optimale de conception d'interfaces. C'est pourquoi l'attention accordée aux normes en matière d'accessibilité est probablement la manière la plus propice pour améliorer la conception d'interfaces en ce qui concerne les problèmes relatifs au daltonisme.

Comme déjà énoncé à la section 4.3.4, il existe un large ensemble de règles et de bonnes pratiques issues de la littérature et d’organismes qui s’intéressent à la problématique ou à l’expérience utilisateur en général. Certaines normes plus ciblées sur le daltonisme sont également proposées par certains. Elles constituent un rôle clé dans la définition d’exigences de l’accessibilité. Certaines sont faciles à respecter tandis que d’autres nécessitent des connaissances du domaine et des techniques plus avancées dans la compréhension de l’utilisation du web. L’objectif poursuivi est de garantir l’universalité de l’accès au web.

Ainsi, les recommandations proposées ci-dessous sont une synthèse de constations personnelles et de spécifications provenant des organismes W3C ([W3C, 2016c]), RGAA ([Levy, 2016]), AnySurfer ([Canter, 2016]) et AccessiWeb ([Burger, 2016]), des bonnes pratiques issues de [Nogier, 2008], [Tidwell, 2010] et de la norme ISO/TS 16071. Il va sans dire que le point central de ces instructions est l’utilisation de la couleur. Leur site web contient un ensemble de référentiels qu’il convient de suivre pour un internet plus accessible.

World Wide Web Consortium

Comme énoncé à la section 3.5, le daltonisme engendre des répercussions sur l’interaction homme-machine et constitue un problème d’accessibilité que peu de concepteurs considèrent comme primordial. Le défi du webdesigner consiste à faire des choix de couleurs dont une perception différente n’altérerait ni la lisibilité, ni l’esthétique d’une page. Pour faire face à ce problème, l’organisme *W3C** ([W3C, 2016c]) a instauré le *WAI**, en 1997, muni d’un ensemble de lignes directrices internationalement reconnues comme standard de l’accessibilité du web : WCAG 2.0, structurant 12 directives principales selon 4 principes fondamentaux. Le principe le plus intéressant dans le cas de la *dyschromatopsie** est le premier concernant “les contenus perceptibles”.

A chaque recommandation WCAG, énoncée dans [W3C, 2016b], correspond un niveau de conformité :

- 1) **niveau A** : considéré comme le niveau d’accessibilité minimal, de priorité la plus élevée (“ce qui doit être fait”);
- 2) **niveau AA** : considéré comme le niveau suffisant, de priorité intermédiaire (“ce qui devrait être fait”);
- 3) **niveau AAA** : considéré comme le niveau ultime, de priorité faible (“ce qui peut être fait”).

Selon une enquête portant sur des sites web d’administration publique, le respect des exigences de niveau A de WCAG 1.0 est estimé à 3 % de ces sites.

Les sous-sections suivantes constituent des tentatives de solutions correspondantes à chaque norme considérée comme pertinente dans le contexte de l’amélioration de l’accessibilité pour les daltoniens.

Norme 1.1.1 : Les équivalents textuels (niveau A)

“Tout contenu non textuel présenté à l'utilisateur a un équivalent textuel qui remplit une fonction équivalente sauf dans les situations énumérées ci-dessous.” [W3C, 2016b]

Fournir des équivalents textuels permet de présenter l'information de façon variée pour une diversité d'agents utilisateurs. Une image ou un graphique qui ne serait pas lisible pour un daltonien le serait par un autre moyen.



FIGURE 5.3 – Exemple d’une carte comme image cliquable

Utilisation de l’attribut **alt** : tout élément graphique, sans exception, devrait avoir un attribut “alt” placé dans sa balise, de façon à avoir une description textuelle lors du survol. Il s’agit d’une règle d’accessibilité mais également d’une condition pour satisfaire au standard HTML. Par exemple, chaque zone cliquable de la figure 5.3 est également un lien graphique qui doit comporter un attribut alt.

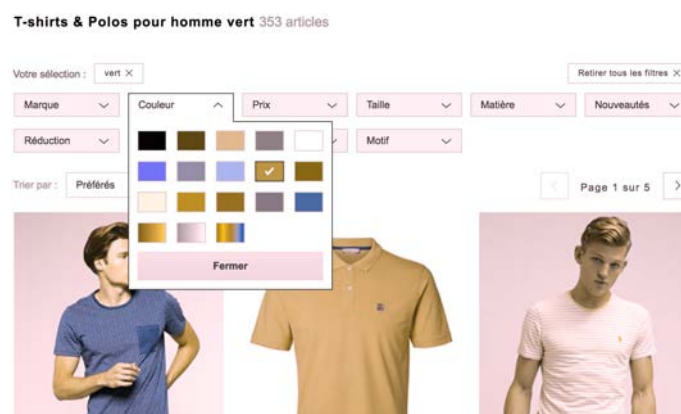


FIGURE 5.4 – Catalogue de vêtements sur un site dont les couleurs sont difficilement discernables pour un daltonien²

²<https://fr.zalando.be>

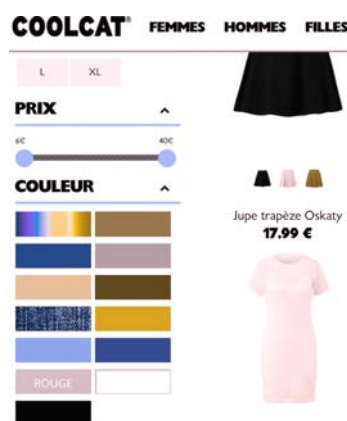


FIGURE 5.5 – Choix d’une couleur de vêtement facilité par la description textuelle lors du survol³

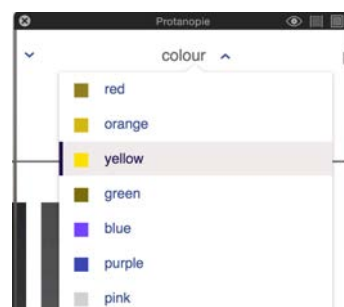


FIGURE 5.6 – Choix par la couleur ou le texte⁴

Lors de l’observation d’images plus complexes telles que des cartes routières, des graphiques, des schémas, etc., il faut fournir une **description textuelle plus complète** pour celui qui ne perçoit pas correctement les couleurs.

L’utilisation d’une **légende** associée au contenu dans le cas de graphiques, cartes, etc. est également requise pour satisfaire à la norme d’accessibilité.

Pour **choisir une couleur** dans un ensemble, il est recommandé mais pas indispensable d’utiliser du texte à la place de la couleur. Néanmoins, il faut fournir un moyen supplémentaire à la couleur elle-même pour permettre à tout utilisateur de la distinguer. Les figures 5.4 et 5.5 montrent respectivement un mauvais et un bon exemple de conception. Cependant, l’utilisateur ne peut observer les différences qu’au moment du survol. Dans le dernier cas présenté à la figure 5.6, le nom des couleurs est directement marqué en complément de manière textuelle. Cela représente la meilleure solution dans ce contexte d’accessibilité.

Norme 1.4.1 : La couleur comme vecteur de communication (niveau A)

“La couleur ne doit pas être utilisée comme unique moyen de véhiculer de l’information, d’indiquer une action, de solliciter une réponse ou de distinguer un élément visuel.” [W3C, 2016b]



FIGURE 5.7 – Exemple de lien non perçu par un daltonien

Les **liens** devraient être facilement identifiables. Pour cela, Il ne suffit pas de différencier les liens en leur réservant des couleurs contrastées (cf. figure 5.7). Il faut également employer une autre caractéristique, typiquement le soulignement, qui serait utilisé uniquement pour les liens.

³<https://www.coolcat.be>

⁴<http://www.gap.co.uk/>

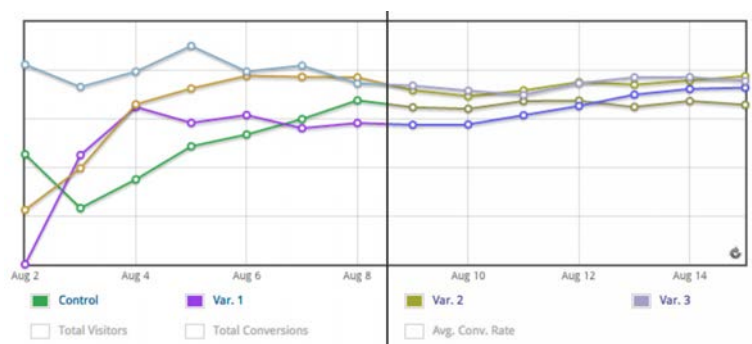


FIGURE 5.8 – Graphique dont certaines parties ne sont pas discernables⁵

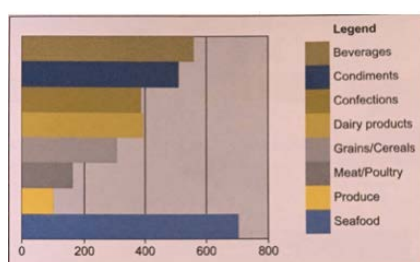


FIGURE 5.9 – Graphique discernable par la disposition de la légende [Johnson, 2010]

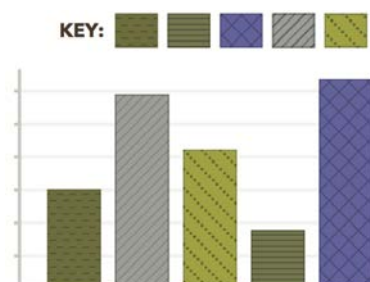


FIGURE 5.10 – Graphique discernable par les motifs

La **légende** d'une carte ou d'un graphique avec la couleur pour unique vecteur d'information, n'est pas perceptible pour de nombreux types d'utilisateurs, comme cela est visible sur la figure 5.8. La **disposition** de la légende, alignée avec les bâtonnets du graphique de la figure 5.9, permet de faire une association directe, même pour un daltonien. Le but est ainsi de changer les caractéristiques de distinction et de regroupement d'informations des lois de Gestalt (cf. section 3.7). Il est possible de combiner les couleurs avec des **motifs** afin de construire un graphique, comme sur la figure 5.10. Cette solution pourrait toutefois perturber un utilisateur conventionnel qui préférerait les couleurs comme unique vecteur.

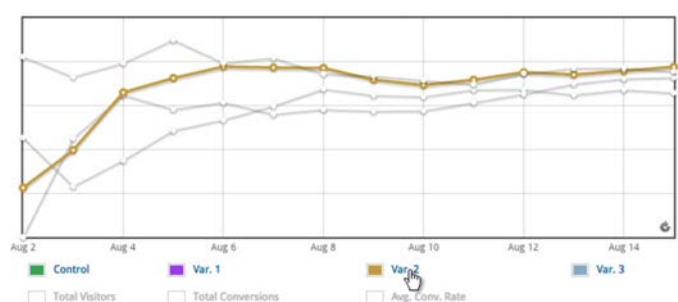


FIGURE 5.11 – Graphique discernable par une interaction

Finalement, le meilleur moyen pour garder le même type de visualisation tout en garantissant l'accessibilité serait d'ajouter de **l'interactivité** à ces informations. Par exemple, Visual Website Optimizer ou sanfrancisco.crimespotting.org fournissent ce genre de solution. Lorsqu'un utilisateur

⁵<https://vwo.com>

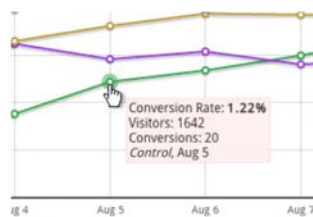


FIGURE 5.12 – Information supplémentaire lors de l'interaction avec un graphique

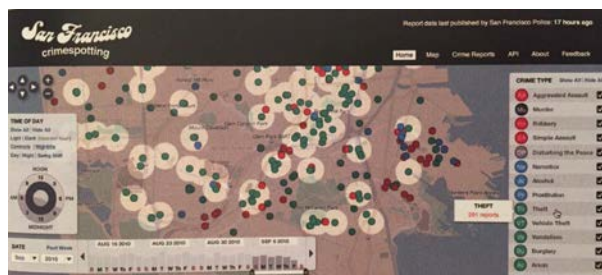


FIGURE 5.13 – Exemple d'interaction sur un graphique⁶

survole un morceau de graphique ou de légende des figures 5.11 et 5.13, il peut observer directement l'association entre les deux. De surcroît, cela permet d'obtenir quelques informations supplémentaires (cf. figure 5.12). Bien que les solutions précédentes induisent une perception plus rapide, cette dernière approche offre un bon compromis. En revanche, il est important de rendre cette technique accessible ; l'utilisateur doit être directement informé de cette possibilité d'interaction.



FIGURE 5.14 – iChat : un exemple de bon moyen pour véhiculer l'information⁷

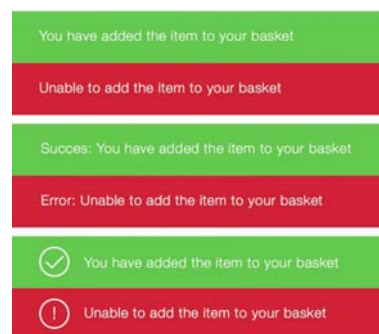


FIGURE 5.15 – Des alertes perçues par différentes caractéristiques

L'utilisation de la couleur pour donner des **informations d'état** n'est pas suffisante. Par exemple, les statuts d'iChat (cf. figure 5.14) affiche un statut qui n'est perceptible que par la couleur sur les images de gauche, présentant donc un obstacle pour un daltonien (simulation sur l'image du dessous). Les images de droite montrent comment les concepteurs ont adapté le contenu en ajoutant une **icône** comme autre attribut distinctif de chaque statut. La combinaison des supports rend l'information plus claire pour tout le monde.

Le même type de repère peut être utilisé pour des messages d'alerte, affichés sur la figure 5.15. La couleur ne permet pas non plus dans ce cas-ci, à elle seule, de véhiculer l'information. Une alternative textuelle est déjà suffisante mais les **icônes** rendent la compréhension plus rapide, si celles-ci sont correctement choisies.

⁶<https://sanfrancisco.crimespotting.org>

⁷<http://wearecolorblind.com/example/ichat>

Norme 1.4.3 : Rapport de contraste suffisant entre le texte et l'arrière-plan (niveau AA)

“La présentation visuelle du texte et du texte sous forme d'image a un rapport de contraste d'au moins 4,5 :1.

- **Texte agrandi** : le texte agrandi et le texte agrandi sous forme d'image ont un rapport de contraste d'au moins 3 :1.
- **Texte décoratif** : aucune exigence de contraste pour le texte ou le texte sous forme d'image qui fait partie d'un composant d'interface utilisateur inactif, qui est purement décoratif, qui est invisible pour tous ou qui est une partie d'une image contenant un autre contenu significatif.
- **Logotypes** : aucune exigence de contraste pour le texte faisant partie d'un logo ou d'un nom de marque.” [W3C, 2016b]

Norme 1.4.6 : Rapport de contraste amélioré (Niveau AAA)

“La présentation visuelle du texte et du texte sous forme d'image a un rapport de contraste d'au moins 7 :1.

- **Texte agrandi** : le texte agrandi et le texte agrandi sous forme d'image ont un rapport de contraste d'au moins 4,5 :1. [...]” [W3C, 2016b]



FIGURE 5.16 – Exemple de mauvais choix de couleurs de texte



FIGURE 5.17 – Exemple de meilleur choix de couleurs de texte

Il faut utiliser des couleurs saturées car elles se remarquent plus facilement. Cependant, elles sont à manipuler avec précaution car elles peuvent engendrer des problèmes de lisibilité pour les daltoniens. Comme cela est perceptible sur les figures 5.16 et 5.17, fournir un rapport minimum de **contraste entre le texte et son arrière-plan** peut rendre le texte plus lisible même si la personne ne voit pas toute la gamme de couleurs.

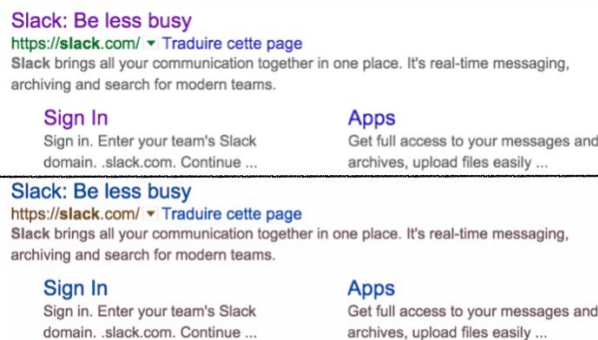


FIGURE 5.18 – Liens google déjà visités démarqués par la couleur (vision daltonienne en dessous)

Les **liens actifs ou déjà visités** sont souvent distincts des autres liens. Si cette distinction est réalisée par l'intermédiaire de la couleur, le contraste doit être suffisant pour qu'un daltonien puisse l'observer. Google ne donne pas le bon exemple comme cela est visible à la figure 5.18.



FIGURE 5.19 – Site non-conforme au rapport de contraste exigé⁸

Certains sites, tel que l'e-commerce bonbon-foliz.com, ne proposent pas une interface graphique appropriée à la vision daltonienne, comme la figure 5.19 le montre.



FIGURE 5.20 – Application conforme au rapport de contraste exigé

L'interface de windows 8 de la figure 5.20, en revanche, offre suffisamment de contraste pour que même un utilisateur achromate puisse aisément distinguer le fond noir de chaque tuile et chaque pictogramme.

⁸www.bonbon-foliz.com

Norme 1.4.8 : Présentation visuelle (Niveau AAA)

“Pour la présentation visuelle des blocs de texte, un mécanisme est disponible permettant de réaliser ce qui suit :

- Les couleurs de premier plan et d’arrière-plan peuvent être choisies par l’utilisateur. [...] [W3C, 2016b]”

Le caractère optionnel et **configurable** est intéressant dans la mesure où une interface est utilisable de la même manière pour l’ensemble des utilisateurs dépourvus de déficiences particulières et fournit une possibilité d’adaptation pour les autres.

Norme 1.4.5 : Texte sous forme d’image (Niveau AA)

“Si les technologies utilisées peuvent réaliser la présentation visuelle, du texte est utilisé pour véhiculer l’information plutôt que du texte sous forme d’image”. [W3C, 2016b]

Norme 1.4.9 : Texte sous forme d’image (Niveau AAA)

“Le texte sous forme d’image est utilisé seulement pour du texte purement décoratif ou lorsqu’une présentation spécifique du texte est essentielle à l’information véhiculée”. [W3C, 2016b]

Cette règle et la précédente ont pour but de réduire la décoration abusive là où les informations sont en conséquence difficilement observées.

Norme 3.3.1 : Identification des erreurs (formulaire) (Niveau A)

“Si une erreur de saisie est détectée automatiquement, l’élément en erreur est identifié et l’erreur est décrite à l’utilisateur sous forme de texte”. [W3C, 2016b]

Nom
Sylvie Dupont

Adresse email
sylvie.dupont@telenet

Rue
Rue du paradis

Numéro

Envoyer

FIGURE 5.21 – Exemple de formulaire dont les erreurs sont caractérisées uniquement par la couleur

REQUIRED FIELDS INDICATED IN RED		REQUIRED FIELDS INDICATED IN RED	
WEBSITE:	<input type="text"/>	WEBSITE:	<input type="text"/>
PHONE:	<input type="text"/>	PHONE:	<input type="text"/>
E-MAIL:	<input type="text"/>	E-MAIL:	<input type="text"/>

FIGURE 5.22 – Exemple de champ dont le caractère obligatoire n’est identifiable que par la couleur

Ce principe, spécifique aux formulaires, vise à compléter la norme 1.1.1 sur les équivalents textuels et la norme 1.4.1. En effet, il est fortement recommandé de ne pas utiliser uniquement la couleur pour décrire une erreur de champ, comme dans l’exemple de formulaire 5.21. Il est également recommandé de distinguer les champs requis avec une caractéristique différente de la couleur, typiquement un astérisque (cf. contre-exemple à la figure 5.22).

* Zip Code:

54030

✓

! Email format is invalid. Please enter a valid email address

* Email Address:

nom_prenomhotmail.com

✗

FIGURE 5.23 – Champs de formulaire correctement implémentés⁹

Du texte et des liens vers les erreurs peuvent être affichés en début de formulaire pour avertir l'utilisateur. De plus, du texte et/ou des icônes à proximité peuvent être adoptés comme alternatives à la couleur (cf. figure 5.23).

D'autres recommandations dans le choix des couleurs sont faites dans [Nogier, 2008] :

- utiliser des couleurs contrastées pour exprimer une différence et peu contrastées pour une similarité ;
- choisir des couleurs saturées pour mettre en évidence les informations importantes et peu saturées pour celles de moindre importance ;
- éviter le bleu saturé pour les petits éléments et le texte ;
- utiliser le bleu pour encadrer ;
- éviter les fonds marron et vert ;
- utiliser plutôt un fond d'écran neutre et clair ;
- minimiser le nombre de couleurs pour réduire la charge perceptive ;
- respecter le sens que l'utilisateur donne aux couleurs (cf. section 3.5 et la figure 3.11 concernant la symbolique des couleurs) ;
- regrouper les contenus par niveau de visibilité dès le début de la conception (la saturation et la luminosité définissent la visibilité).

Pour résumer, les deux principales idées sont de fournir une alternative à la couleur et de vérifier les contrastes. La meilleure solution, recommandée par l'organisme W3C ([W3C, 2016a]), est tout de même de combiner ces standards avec une implication des utilisateurs pour évaluer le logiciel. Cette stratégie devrait assurer une conception d'interfaces accessible à un large ensemble d'individus en toutes situations.

⁹www.homedepot.com

5.4 Méthodes de prototypage

D'une importance capitale, les prototypes réalisés à chaque itération de processus, décrits à la section 4.4, permettent d'évaluer l'ergonomie d'une interface lors d'une conception réelle. Malgré une bonne analyse et une bonne rigueur de conception, il est indispensable de réaliser plusieurs prototypes pour améliorer l'interface au fur et à mesure. Le cas du daltonisme exige d'autant plus de se concentrer sur les aspects graphiques plutôt que fonctionnels. Cet aspect est exceptionnel par rapport au développement logiciel classique.

Prototype idéal

Pour évaluer une interface au regard des contraintes de la déficience de vision des couleurs, il faudrait concevoir un prototype déjà programmé. En effet, il est plus difficile de se rendre compte des différents problèmes ergonomiques si le logiciel n'est pas encore bien représenté et ne comporte pas d'élément graphique composé de couleurs. L'interaction devrait être testée, ce qui requiert donc des prototypes dits verticaux, d'un niveau de fidélité plus haut. Cette contrainte rend particulièrement difficile la réalisation de ce type d'interface, puisque cela retarde les erreurs potentielles à rencontrer. Dans ce cas, le prototype servirait à la fois d'ébauche de projet et à la fois d'outil de recherche utile pour valider des hypothèses avec des utilisateurs daltoniens.

Prototype intermédiaire

Cependant, il est conseillé de réaliser des prototypes intermédiaires qui ne sont pas testés, afin de concevoir correctement l'interface finale. Ces prototypes, plutôt horizontaux et de fidélité plus basse, permettent d'avoir une vision globale du système à concevoir. Ils ont aussi un but de communication et d'amélioration progressive en admettant des mini-itérations entre conception et prototypage.

Prototype papier

Il serait possible de réaliser des prototypes testables en papier. Ils seraient munis de couleurs pour les éléments graphiques qu'on souhaite tester et qui pourraient s'avérer problématiques. Différentes de conception pourraient être passées en revue lors du test. Cette comparaison pourrait donner des indications très rapidement sur les bonnes pratiques de conception et les erreurs à ne pas faire. Toutefois, pour obtenir des résultats objectifs, la méthode doit être rigoureuse et donc laborieuse à développer.

En somme, ce genre de pratique est à réaliser uniquement s'il on souhaite des résultats rapidement. Dans les autres cas, les résultats des tests ne devraient pas être assez rentables par rapport aux prototypes programmés. En revanche, les prototypes de plus basse fidélité peuvent servir de base à la réflexion du concepteur. Le choix du type d'interface dans un cas d'accessibilité est crucial.

5.5 Méthodes d'évaluation

5.5.1 Audit ergonomique

L'évaluation ergonomique, développée dans [Johnson, 2010; Tullis et Albert, 2008; Vanderdonckt et Limelette, 2005], consiste à passer en revue chacun des composants de l'interface et à vérifier le respect d'une grille de critères ergonomiques. Cette validation est généralement réalisée par un expert ou avec un utilisateur final, comme énoncé à la section 4.5.2. L'auditeur peut être un expert en utilisabilité ou en accessibilité dans le but de réaliser une analyse plus spécifique.

5.5.2 Validation automatique de normes ergonomiques

Il existe beaucoup d'outils de validation automatique des règles ergonomiques. Cette automatisation a pour avantage de réduire les coûts, de se dispenser d'expertise et de repérer les erreurs plus rapidement et plus efficacement. Il y a cependant certaines limites : seulement certains critères peuvent être validés et certains aspects ne peuvent être jugés que subjectivement. Ces outils pourraient être fréquemment utilisés lors de la phase de conception.

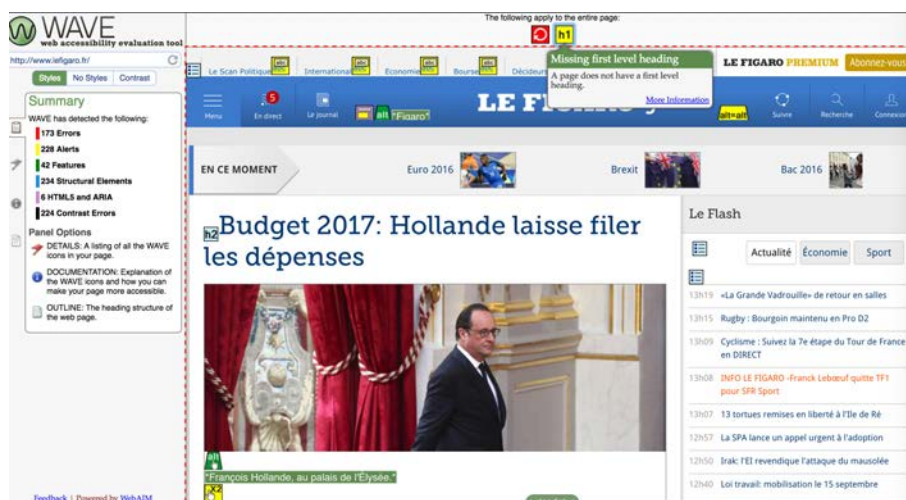


FIGURE 5.24 – Exemple d'analyse d'une page par Wave

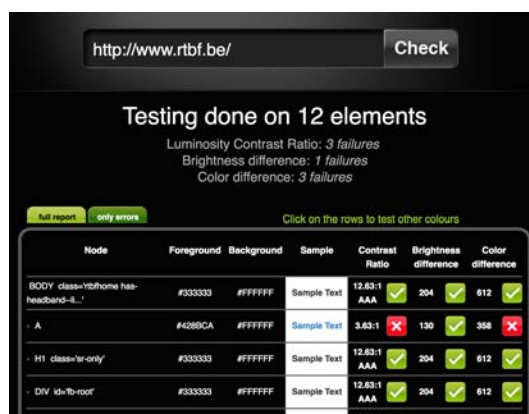


FIGURE 5.25 – Analyse des contrastes d'une page d'un site

Certains sites ou outils à télécharger proposent une vérification des normes d'accessibilité la plus large possible, généralement par rapport aux critères WCAG2.0. Malheureusement, peu d'entre-eux sont mis à jour ou même fonctionnels pour la majorité des sites. On peut citer **uitest.com** ou **wave.webaim.org** parmi les dispositifs intéressants. Le premier rassemble des outils de validation permettant d'analyser un logiciel avec différents critères. Le second analyse une page et donne des indications sur chacun des problèmes identifiés (un exemple est fourni à la figure 5.24). **check-mycolours.com**, de la figure 5.25, permet d'obtenir une analyse d'un site en vérifiant chacun des contrastes des couleurs.

FIGURE 5.26 – Outil de calcul du rapport de contraste

D'autres logiciels, plus condensés, se concentrent plus particulièrement sur **l'utilisation de la couleur**. **Colour Contrast Check**¹⁰ est un de ces outils, permettant de vérifier la conformité des sites web avec les normes WCAG2.0 1.4.3 et 1.4.6. Il suffit d'indiquer les 2 couleurs utilisées pour que le logiciel calcule leur rapport de contraste (cf. figure 5.26).

FIGURE 5.27 – Logiciel de calcul du rapport de contraste

FIGURE 5.28 – Outil de vérification du rapport de contraste entre 2 couleurs

¹⁰https://snook.ca/technical/colour_contrast/colour.html

Colour Contrast Analyser¹¹ produit le même résultat. Une pipette est disponible en complément afin de reproduire une couleur affichée à l'écran. Il est également muni, en ce qui concerne la version Windows, d'un simulateur de la déficience des visions des couleurs (cf. figure 5.27).



FIGURE 5.29 – L'outil ColorSchemeDesigner

ColorSchemeDesigner¹² est un outil qui permet de simuler la perception daltonienne d'une couleur indiquée avec des configurations détaillées (cf. figure 5.29).

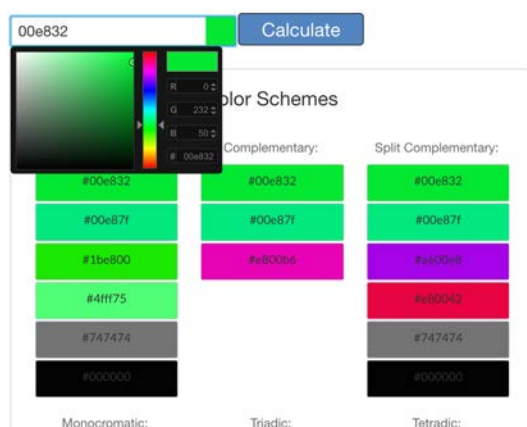


FIGURE 5.30 – Outil de visualisation des complémentarités de couleurs

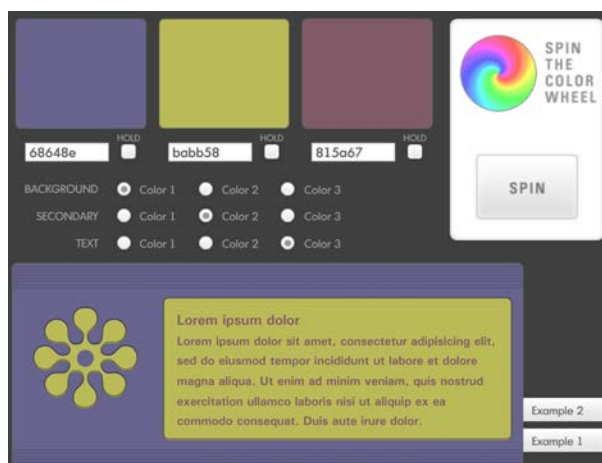


FIGURE 5.31 – Outil de perception de couleurs sur un arrière-plan

Le site **colorsontheweb.com** s'intéresse également à l'utilisation de la couleur sur Internet. Les auteurs donnent des informations et divers conseils utiles dans ce contexte. Ils proposent plusieurs outils permettant aux concepteurs de choisir les couleurs adéquates pour leurs sites. **Color Wizard** est le premier ; il suffit d'encoder la valeur hexadécimale d'une couleur ou la sélectionner pour renvoyer une gamme de couleurs "assorties" (cf. figure 5.30). **Color Wheel** est un outil permettant d'observer directement l'utilisation de 3 couleurs sur du contenu web (figure 5.31). **Color Contrast Analyser** comprend, comme les logiciels précédents, une vérification de la conformité des normes WCAG2.0 concernant les rapports de contraste (cf. figure 5.28).

¹¹paciellgroup.com

¹²<http://paletton.com>

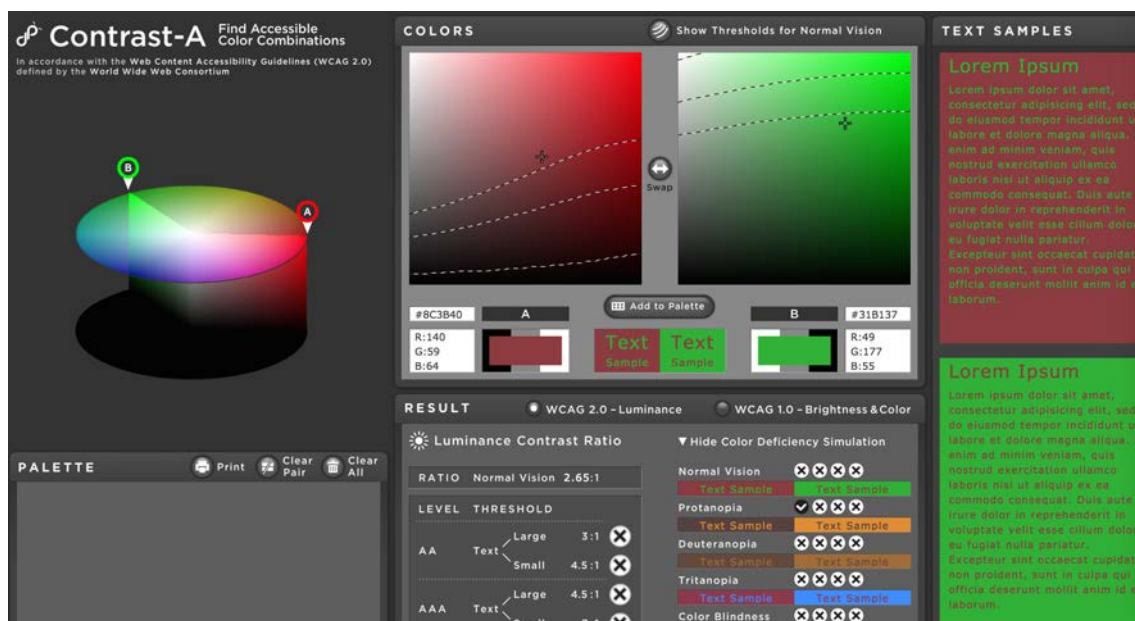


FIGURE 5.32 – Outil complet de validation des normes W3C 1.4.3 et 1.4.6



FIGURE 5.33 – Comparaison des simulations daltoniennes

Finalement, le site **contrast-a.dasplankton.com** fournit un logiciel plus complet, visible à la figure 5.32, qui permet également de constater la différence de contraste entre deux couleurs, mais affiche en complément les frontières (lignes) à ne pas dépasser pour se situer dans le ratio conforme aux critères ergonomiques. De plus, il simule les couleurs telles qu'un daltonien les verrait et affiche un texte d'exemple. Cette solution semble la plus appropriée. Néanmoins, comme le montre la figure 5.33, la simulation (partie du dessous) n'est pas identique à celle issue de programmes semblables comme Sim Daltonism (partie du dessus).

5.5.3 Outil de simulation

Dans l'intention de vérifier la conformité de l'interface aux problèmes liés au daltonisme, certains outils de simulation existent. Ils servent à visualiser une interface graphique en simulant les couleurs perçues par un daltonien. Ces logiciels ne remplacent pas une évaluation avec un utilisateur mais devraient permettre une estimation visuelle subjective pour se rendre compte des difficultés et valider une conception. Ils ne se substituent pas non plus aux normes ergonomiques qui ont un désir d'objectivité.

Par exemple, **vischeck.com** a développé un plug-in pour photoshop permettant de simuler les 3 types de daltonisme pour une image sélectionnée. **Chrome Daltonize**, est une extension supportée par le navigateur chrome permettant, en plus de la simulation, d'apporter un filtre de correction

pour la vision daltonienne. **Color oracle** est, lui, un logiciel de simulation du daltonisme utilisé sur tout l'écran de l'ordinateur.

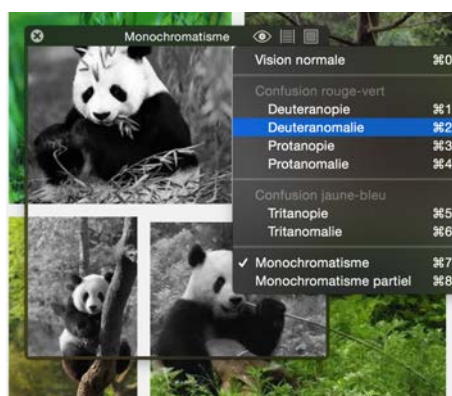


FIGURE 5.34 – Exemple de simulation avec le logiciel Sim Daltonism

En dernier lieu, **Sim Daltonism** (cf. figure 5.34) est une application supportée sur MacOSX, équivalent en simulation à ColorOracle. Celle-ci est utilisée pour simuler la vision déficiente des couleurs tout au long de ce travail. En complément de la simulation daltonienne dichromate, elle simule également la vision trichromate anormale et monochrome (cf. section 2.3 détaillant les types de déficiences).

Néanmoins, comme cela est conclu dans l'annexe B, il faut être vigilant quant à l'utilisation de ces simulateurs qui ne donnent qu'un résultat subjectif de la vision réelle. Quelques précautions sont donc à prendre. Dès lors, ces outils sont utiles mais seulement complémentaires aux méthodes déjà présentées. Par ailleurs, cette technique d'évaluation est généralement réalisée en même temps que l'activité de conception.

5.5.4 Tests d'utilisabilité

Les méthodes d'évaluation de la section 4.5 permettent de vérifier la théorie par la pratique. La considération la plus importante est qu'il est impossible d'obtenir autrement des conclusions objectives qu'avec un panel d'utilisateurs, même avec un outil de simulation. Cette technique empirique est définitivement essentielle. Les tests utilisateurs, effectués au fur et à mesure de l'évolution du logiciel, permettent d'obtenir un feedback régulier de la qualité et de faire une rétrospective pour l'améliorer.

La plupart des techniques de l'enquête contextuelle développées durant l'activité d'analyse (5.2.4) sont réutilisables. Le protocole de test est assez semblable à celui évoqué à la figure 4.18. Les principales divergences se situent au niveau des participants et des analyses de résultats.

La sélection des participants

La sélection des participants est effectivement particulière. Il est nécessaire d'avoir un échantillon correct et complet de personnes daltoniennes. Le biais est qu'un utilisateur possède plusieurs

caractéristiques qui influent sur les résultats de l'*expérience utilisateur**. Les conclusions relatives aux évaluations ne sont pas toujours valides. Elles peuvent ne pas convenir avec les hypothèses et les objectifs du test. **La correspondance** du type d'utilisateur avec le problème précis à analyser n'est parfois pas exact. Par exemple, elle n'est pas vérifiable en ce qui concerne le daltonisme. Une personne dite daltonienne qui ne l'est que légèrement ne peut pas produire de résultat universel.

En outre, l'interaction dépend du contexte et d'un individu à l'autre. Afin de rendre un test assez objectif, il faudrait vérifier des conditions différentes avec un même utilisateur (cf. test within-subject). Cela permet de garder les mêmes caractéristiques. Ensuite, pour obtenir un résultat plus universel, il faudrait tester ces mêmes conditions avec un large ensemble de participants (cf. test between-subject). Ces restrictions rendent les tests d'utilisabilité plus compliqués à pratiquer.

L'aspect psychologique a donc des conséquences plus importantes dans ce contexte. Durant une évaluation avec un utilisateur daltonien, les problèmes d'interaction peuvent l'amener à penser aux situations d'"échecs" déjà rencontrées. Il tente alors d'éviter ces obstacles qui sont pourtant les plus intéressants à observer. En conséquence, la prise en compte de cette particularité est fondamentale.

Type de méthode et analyse

Les différentes catégories d'évaluation dépendent de la complexité du système à réaliser. La simple interprétation directe avec des données qualitatives peut sembler suffisante. Cependant, l'aspect universel du logiciel à conception rajoute une difficulté à considérer dans les observations. En effet, l'estimation de l'efficacité de réalisation de tâches ne suffit pas à prouver une bonne utilisabilité. Un daltonien est souvent capable d'effectuer l'exercice demandé, mais avec bien plus d'effort et de temps.

Certaines données **quantitatives** sont alors requises pour évaluer précisément la performance. Une analyse détaillée pourrait sans doute communiquer des informations pertinentes supplémentaires. Néanmoins, ce type de méthode rigoureuse est beaucoup plus long à développer. Des méthodes rapides comprenant des mesures quantitatives semblent être un bon compromis. Par ailleurs, des graphiques statistiques seraient utiles pour la recherche à long terme.

Bien que les tests "in-situ" permettent de tester l'expérience utilisateur sans modifier son environnement, les **tests en laboratoire** offrent parfois plus de possibilité. L'utilisation d'un oculomètre par exemple, comme expliqué à la section 5.2.4, est particulièrement utile à la compréhension des erreurs liées au daltonisme.

5.5.5 Journal d'étude

Le journal d'étude est une technique permettant d'obtenir des informations subjectives à long terme. Il s'agit de maintenir un cahier pour chaque utilisateur avec ses problèmes rencontrés au quotidiens dans l'interaction, ses émotions, etc. L'intérêt est de pouvoir reporter un problème constaté n'importe quand. En effet, la plupart des observations se font quotidiennement et ne peuvent pas se remarquer lors d'un test. Il faudrait alors reprendre contact périodiquement avec le sujet. Cette méthode est complémentaire aux précédentes.

Chapitre 6

Préparation des expérimentations

6.1 Objectif

Le but du précédent chapitre était de proposer une adaptation de la méthodologie classique, synthétisée au chapitre 4, avec la prise de conscience du daltonisme. Les objectifs des études à réaliser dans le travail qui suit sont multiples :

- analyser l’impact du daltonisme sur l’*expérience utilisateur** ;
- analyser l’influence de la prise en compte du daltonisme sur la conception d’*interaction homme-machine** ;
- vérifier empiriquement la réussite ou l’échec de mise en oeuvre d’une partie de la méthodologie, classique et adaptée, en “amont” du développement ;
- mesurer l’utilité et l’*utilisabilité** des solutions “en aval” sur des interfaces problématiques ;
- comparer les différentes approches et en déduire des conclusions sur **la bonne démarche à adopter dans le but d’améliorer l’accessibilité des interfaces pour les daltoniens.**

Afin d’apprécier la qualité des approches, des expériences réalisées avec des utilisateurs daltoniens et avec l’aide de concepteurs sont réalisées. Pour ce faire, un ensemble d’interfaces problématiques doit être identifié, catégorisé et sélectionné pour les tests. D’autre part, les mêmes types d’interfaces doivent être conçues en se conformant à une méthodologie. Un protocole de test doit ensuite être imaginé pour évaluer celles-ci et répondre aux questions de recherche.

6.2 Inventaire et classification des problèmes

La section 3.3 aborde la façon dont les concepteurs de sites web s’aident de métaphores du monde réel pour créer certains types de contenus. L’*affordance** est également un principe clé, qui place la couleur comme une des caractéristiques importantes permettant d’observer plus aisément le contenu informationnel d’une interface informatique.



FIGURE 6.1 – Exemple de simulation de la vision deuteranope sur une image de catégorie définie comme technique

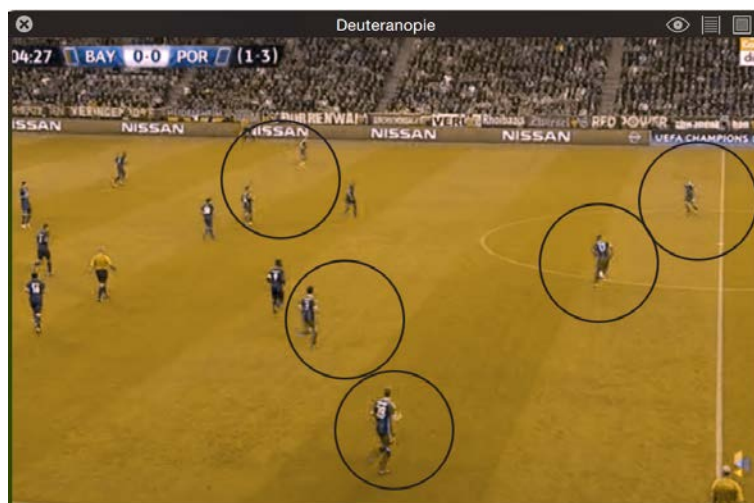


FIGURE 6.2 – Exemple de vision deuteranope d’une image de catégorie définie comme intermédiaire

Par ailleurs, “la *sémiologie*” permet d’aborder l’image sous l’angle de la signification” [Joly, 2015, p.12]. Elle étudie la façon dont l’image provoque des interprétations. La sémiologie tente de voir s’il existe des catégories de signes différentes et si celles-ci ont des processus de signification particuliers. Ces études légitiment la catégorisation d’images problématiques à identifier en fonction du sens que celles-ci ont pour un utilisateur daltonien. Différents types de “signes” sont identifiés dans [Joly, 2015] :

- les **indices** : expression directe d’une chose manifestée (fumée pour un feu) ;
- les **icônes** : représentations analogiques détachées des objets ou phénomènes représentés ;
- les **symboles** : signes arbitraires rompant toute ressemblance avec la chose exprimée.



FIGURE 6.3 – Exemple d’une image simulée de catégorie définie comme illustrative

Tableau 6.1 – Catégorie d’images à étudier dont la couleur peut être problématique

Catégorie	Détails	Exemples
“Technique”	Images ou interfaces d’ordre “technique” dont le besoin de distinguer les couleurs est important tandis que la valeur “esthétique” n’est pas un aspect crucial. Il s’agit du cas le plus intéressant pour apporter une assistance	Des graphiques, des cartes munies de légendes (cf. figure 6.1), des formulaires, des listes de valeurs colorées, etc.
“Intermédiaire”	Images plutôt techniques, c’est-à-dire contenant des éléments colorés à distinguer, mais dont la valeur “esthétique” ou décorative a tout de même une certaine importance. Ce cas est particulier, puisqu’il est difficile d’obtenir la satisfaction de l’utilisateur. Celui-ci a parfois besoin de différencier les couleurs mais son confort visuel n’est pas toujours idéal si celles-ci sont modifiées. Il souhaite naturellement garder ses référents habituels. Les filtres de correction de couleurs ne sont généralement pas des outils efficaces dans ce cas-ci.	Des images telles qu’une pomme dans un arbre ou un match de football avec 2 équipes dont les couleurs sont semblables pour un daltonien (cf. figure 6.2), des éléments graphiques dont la couleur a une symbolique, un choix de couleur, des thèmes de sites web, etc.

“Illustrative”	Images dont le but premier est illustratif. La distinction des couleurs n’a, de plus, généralement pas de réel impact pour l’utilisateur.	Le cas de la figure 6.3 est un exemple pour lequel l’utilisateur devrait préférer conserver les couleurs d’origine.
-----------------------	---	---

En vue de tester les interfaces utilisateurs de la manière la plus complète, une proposition est donc d’identifier les différents cas de problèmes rencontrés. Le but principal serait de comprendre quel cas exige une solution, et quelle approche serait la plus adaptée. Ces différentes catégories ont été imaginées grâce aux études préalables réalisées lors de tests utilisateurs et grâce aux simulations permettant de comprendre les diverses difficultés éprouvées par un daltonien. Le tableau 6.1 détaille ces catégories, résultantes d’une simple réflexion personnelle et des documentations abordées aux paragraphes précédents.

D’autres catégories pourraient être définies. Certains contenus comprennent parfois un mélange de ces catégories. Par exemple, des icônes correspondant à une métaphore du monde réel, comme sur la figure 4.14, sont de catégorie technique. Elles servent d’informations pertinentes pour l’utilisateur. D’autre part, la valeur métaphorique est un aspect crucial, comme cela est exprimé dans les paragraphes précédents. Ces éléments graphiques ont une symbolique particulière importante pour l’utilisateur, ce qui semble être associé à la catégorie n°2. Cependant, tant que la couleur n’entre pas en jeu, ce type de contenu est tout de même classé dans la catégorie n°1.

Un niveau d’influence sémiologique pourrait être établi pour chaque type de contenu. De même, un degré d’importance entre les aspects techniques et illustratifs pourraient être établi en vue d’avoir une précision concernant cette classification d’images. En effet, si les catégories 1 et 3 paraissent assez évidentes sur leur composition, la catégorie intermédiaire est assez floue. D’une part, le niveau de besoin d’une correction de couleurs entre une image d’un match de football et un choix de couleur n’est pas le même. D’autre part, l’intensité de correction souhaitée est probablement différente. En somme, il semble utile d’évaluer chacune de ces catégories lors des tests et de vérifier ces hypothèses.

Sélection d’interfaces

Un ensemble d’interfaces a été définie à l’annexe C pour l’expérimentation. Les choix d’images ou d’interactions se portent sur les mêmes types de problèmes que les normes ergonomiques de la section 5.3.2 tentent d’éliminer. En outre, ces choix sont guidés par la volonté de varier les types de contenus et de permettre leur réimplémentation. Cette sélection se compose donc, dans l’ordre de présentation :

- 1) des indications “numériques” représentées sous forme de composant graphique utilisant la couleur rouge et la couleur verte ;
- 2) une liste contenant du vert et du rouge comme informations à distinguer ;
- 3) des liens déjà visités ;
- 4) un formulaire avec des erreurs à remarquer ;

- 5) un choix de couleurs à effectuer ;
- 6) une carte dont les différentes zones sont difficilement différenciables pour un daltonien ;
- 7) une image d'un environnement réel dont certains éléments sont difficiles à observer ;
- 8) un graphique ;
- 9) une image dont l'unique but est illustratif.

Il faut remarquer que les interfaces 5 et 7 sont de catégorie 2 (cf. tableau 6.1) et la dernière de catégorie 3. Toutes les autres font partie de la catégorie 1, qui sont hypothétiquement les cas les plus intéressants à améliorer sur le web.

6.3 Outils d'assistance

6.3.1 Approche

La section 3.1 énonçait déjà certains outils apparus dans le but d'assister des technologies qui n'étaient pas facilement utilisables. L'opportunité qu'offre le manque de considération des problèmes d'accessibilité dans les interfaces existantes est semblable. De cette manière, une aide technique n'agit plus en amont de l'ingénierie pour aider les concepteurs d'interfaces à optimiser leur solution comme au chapitre 5, mais seulement en aval, en permettant à toute personne d'utiliser plus aisément un produit qui est ordinairement non-conforme.

Selon le type d'handicap, l'utilisateur peut utiliser différents outils. Par exemple, certains déficits sont comblés par un navigateur textuel ou auditif, transformant un site web en une version contenant uniquement du texte ou une version auditive qui peut être écoutée par l'utilisateur.

Cette section consiste à explorer les solutions à la dyschromatopsie correspondant à la deuxième approche proposée à la section 5.1. Celles-ci sont inspirées des tentatives de solutions développées à la section 2.6. Il existe plusieurs types d'aides de ce type, détaillés dans le tableau 6.3.

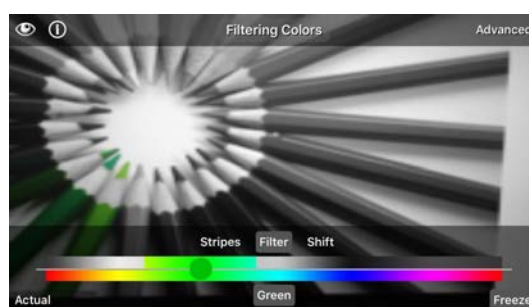


FIGURE 6.4 – Capture d'écran du logiciel Color Blind Pal ne mettant en évidence que la gamme de couleurs souhaitée



FIGURE 6.5 – Capture d’écran du logiciel Color Blind Pal remplaçant une gamme de couleurs souhaitée par une hachure

Tableau 6.3 – Type de logiciels d’aide à la dyschromatopsie

Type d’aide	Exemple
Une indication des couleurs avec du texte ou un code particulier lors du survol.	Sur la figure 6.4, le logiciel “Color Blind Pal” fournit une indication de la couleur verte, indiquée au bas de l’écran lorsqu’elle est sélectionnée.
Un filtre qui met en évidence la couleur souhaitée : scintillement, niveau de gris pour les autres couleurs, etc.	La même figure 6.4 montre un ensemble de couleurs dont seules les nuances de vert sont visibles. Cette approche ne semble pas efficace pour un achromate.
Un filtre qui remplace certaines couleurs sur l’interface même : motifs, soulignement, etc.	Sur la figure 6.5, une hachure dans la zone de couleurs souhaitée est affichée.
Un filtre modifiant les couleurs globalement ou par sélection des contenus.	La plupart des logiciels d’aide existants proposent des filtres de correction de couleurs.

La dernière démarche (dernière ligne du tableau 6.3) comporte plusieurs existants, bien que les autres solutions ne soient pas totalement écartées. Il aurait été particulièrement intéressant d’analyser de manière plus approfondie ces différentes sortes d’aides, mais cela n’entre pas dans le cadre de cette étude.

Ces outils sont destinés à assister les daltoniens dans l’utilisation d’outils informatiques. Ils sont censés combler les principes ergonomiques, associés aux déficiences de vision des couleurs (cf. section 5.3.2), qui ne sont pas satisfaits. Le principal avantage de cette manoeuvre serait de conserver la même qualité d’interaction pour tout utilisateur et ne pas réclamer plus d’efforts aux développeurs durant la conception.

6.3.2 Filtres de correction des couleurs

Les filtres de correction de couleurs sont déjà nombreux. Cependant, d’après des études réalisées dans le cadre préalable à ce travail, ce type d’outil n’est pas largement employé. Leurs usagers n’en témoignent pas une grande satisfaction. Le tableau 6.4 présente un rapport synthétisé des applications testées.

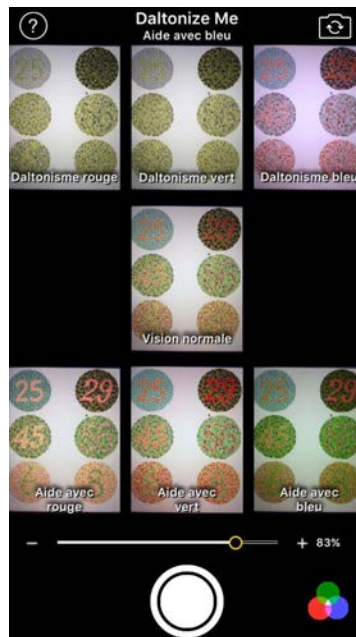


FIGURE 6.6 – Capture d'écran de l'application Daltonize Me

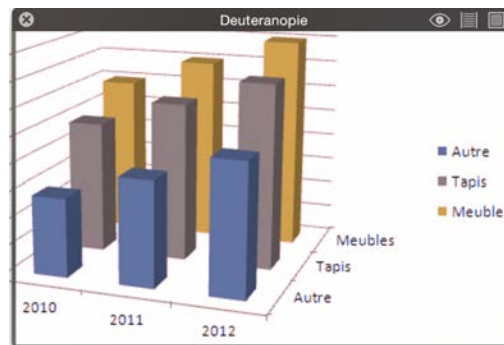


FIGURE 6.7 – Exemple de correction de couleurs avec l'extension Chrome Daltonize

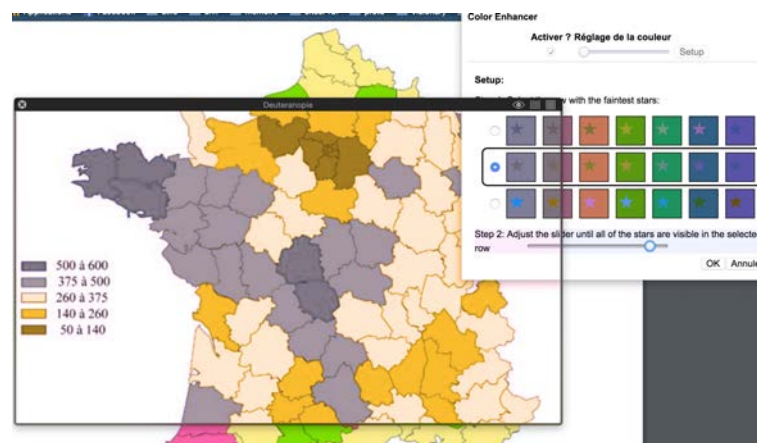


FIGURE 6.8 – Capture d'écran d'un exemple de correction avec le logiciel Color Enhancer

Tableau 6.4 – Analyse résumée de 3 logiciels de correction de couleurs

Logiciels	Caractéristiques
<p>Daltonize me : application iPhone, dont une capture est visible à la figure 6.6.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aide non-négligeable dans la plupart des cas. • Permet d’avoir un support portable, dans n’importe quelle situation. • Le “slider” est une conception intéressante ayant pour but de corriger la vision en fonction du degré de déficience. • Effort permanent à exercer pour bénéficier du filtre, affectant le confort d’utilisation. • La correction semble moins convenir que les autres solutions.
<p>Chrome Daltonize : extension chrome, dont un exemple de correction est affichée à la figure 6.7.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aide apportée, mais moins efficace que les 2 autres outils. • Aucune personnalisation en fonction du profil de déficience n’est possible. • Correction jugée dégradante dans certains cas. • Filtre non-appliqué sur l’ensemble du contenu (certaines images, vidéos, etc.).
<p>Color Enhancer : extension chrome développé par Google, dont une capture d’écran d’une configuration de correction de couleurs est disponible à la figure 6.8.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Outil le plus efficace analysé concernant la correction de la vision daltonienne et le confort d’utilisation. • Permet une personnalisation de la correction en fonction des besoins de l’utilisateur. • L’utilisation des “sliders” pour configurer les couleurs est parfois exagérée ou non optimale, ce qui engendre un moindre confort. • Pas d’adaptation automatique en fonction du contenu des pages, produisant une inefficacité du filtre pour certains contenus. • D’après les simulations avec le logiciel Sim Daltonism, la correction de la vision tritanope n’est pas appropriée.

Dans la suite de l’analyse, le logiciel Color Enhancer est utilisé. Il contient 2 options de configuration : la première est désignée, dans le cadre de ce travail, comme un niveau d’“intensité” lié à un choix d’une rangée d’étoiles (probablement lié aux types de déficiences) et la deuxième comme une “orientation” de correction de couleurs.

La faible utilité de ces solutions les rend moins envisageables pour faire face au problème d'accessibilité. Toutefois, la piste n'est pas à écarter, car le peu d'intérêt pour la construction de ce genre d'outil détermine le peu de ressources déployées pour les améliorer. Il serait pourtant envisageable de fournir des configurations supplémentaires.

Premièrement, l'algorithme responsable de la transformation des couleurs en fonction d'un type de *dyschromatopsie**, pourrait être adapté en vue de fournir des personnalisations additionnelles. De surcroît, la correction pourrait s'ajuster aux différents types de contenus, présentés à la section 6.2. En effet, il convient dans certains cas de ne pas trop altérer la couleur de l'écran, à cause des références habituelles utilisées par les daltoniens. En somme, l'approche peut s'avérer concluante mais ce domaine de recherche est encore à exploiter.

6.4 Protocole expérimental

L'idée principale des expériences est de réaliser des tests utilisateurs, comme ils sont décrits à la section 4.5.1 et à la section 5.5.4. Cette étude permet de répondre aux objectifs de la section 6.1. Le principe est de comparer des contenus semblables dont la conception a été méthodiquement élaborée de manière différente.

6.4.1 La sélection des participants

La sélection des participants doit être rigoureuse. Cinq utilisateurs paraissent suffisants, d'après [Hartson et Pyla, 2012], mais il est nécessaire d'avoir un échantillon complet. Un ensemble de personnes avec des caractéristiques différentes (âges, compétences informatiques, degré de déficience, etc.) est requis pour rendre les interprétations plus objectives. De plus, un sujet non daltonien est nécessaire en vue de vérifier et comparer les résultats avec un point de référence.

Une interview pré-expérimentale est effectuée pour rassembler les informations concernant les caractéristiques du sujet :

- âge ;
- sexe ;
- activité professionnelle ;
- compétences informatiques ;
- type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3) ;
- principales difficultés (informatiques ou non) ;
- autres caractéristiques importantes telles qu'un handicap ou une autre difficulté liée à la perception.

6.4.2 Objets d’évaluation

Le test porte, d’une part, sur les interfaces problématiques abordées à la section 6.2. L’annexe C détaille le script semi-guidé pour mener les évaluations de manière semblable auprès de chaque participant concernant ces sites web.

D’autre part, des prototypes programmés intégrant les mêmes types de contraintes de perception ou d’interaction que celles de l’annexe C sont définis. Par exemple, la caractéristique d’isolation sonore dans les deux interfaces conçues (cf. figures 9.27 et 9.28) représente le même type de difficulté que le site web de la figure 9.15 en annexe.

L’un des prototypes correspond à une conception basée sur une ébauche de la méthodologie classique (cf. chapitre 4), l’autre sur une partie de la méthodologie adaptée (cf. chapitre 5). Une liste de bonnes pratiques a donc été distribuée à chacun des développeurs. L’annexe D détaille le script à suivre pour évaluer les deux prototypes.



FIGURE 6.9 – Test de classement du site *http://colour-blindness.org*

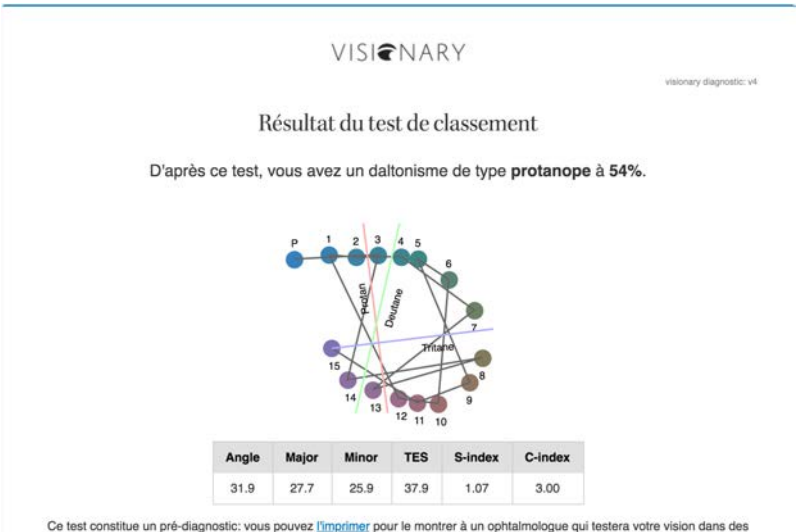


FIGURE 6.10 – Exemple de diagnostic du test de classement

L'ordre de présentation des interfaces lors de l'expérience est important. Le protocole complet est composé, dans l'ordre, des points suivants :

1. explication des objectifs et du contenu des tests ;
2. interview préalable ;
3. **“expérience 1”** : évaluation des sites existantes portant sur des problèmes d'interactions définis à l'annexe C et la section 6.2 ;
4. diagnostic sur un test de classement, développé sur le site : <http://colour-blindness.org>, et inspiré des tests détaillés à la section 2.5 et à l'annexe B (cf. figures 6.9 et 6.10) ;
5. **“expérience 2”** : évaluation dudit **“prototype 1”** conçu avec la méthodologie classique de l'annexe D ;
6. **“expérience 3”** : évaluation dudit **“prototype 2”** conçu avec la méthodologie adaptée de l'annexe D ;
7. configuration du logiciel “Color Enhancer” et nouvelle exécution du test de classement ;
8. **“expérience 4”** : évaluation des interfaces problématiques de l'annexe C dont la couleur est corrigée à l'aide du logiciel “Color Enhancer” de la section 6.3.2.

Explication de début de test

L'interview préalable permet à la fois de collecter des informations indispensables et de rassurer le participant sur les tâches à effectuer, conformément à la section 4.5.1. Le rappel des modalités spécifiques aux évaluations et l'anonymat du test est nécessaire. Il faut à l'évidence préciser d'agir le plus naturellement possible et d'expliquer à haute voix toutes réflexions, choix ou tâches effectués. Il est également important de bien décrire aux participants comment le test est réalisé, tout en leur laissant la liberté totale d'action et d'expression. D'autre part, il faut bien faire comprendre que l'objectif n'est pas de tester l'utilisateur, d'évaluer ses aptitudes, mais bien d'évaluer la qualité des interfaces.

Restrictions diverses

Afin d'empêcher certains biais, tels que la mémorisation des participants par exemple, les contenus à tester ne comportent pas les mêmes données et sont conçus différemment. Une importance particulière est également accordée aux questions subsidiaires et à une adaptation permanente durant l'expérience. De plus, les deux tests composés d'interfaces problématiques, l'un avec filtres de correction, l'autre sans, sont séparés par une durée la plus longue possible. De cette façon, le moins d'informations possibles sont mémorisées. L'ordre d'affichage des sites en question est également différent. Certains d'entre eux requièrent des réponses différentes, mais d'autres non, par souci de simplicité. Un biais est donc toujours présent, mais diminué.

Diagnostic

Le diagnostic, au point 4, permet d’avoir une meilleure compréhension du degré de déficience pour appréhender au mieux les résultats de l’expérience. Le même diagnostic avec des couleurs corrigées permet de vérifier l’efficacité du logiciel de correction au point 7.

Degré de satisfaction

La dernière image de l’annexe C, illustrative, est présentée entre les interfaces 3 et 4 lors de l’expérience 4 (avec les filtres d’aides au point 8). Cette insertion a pour but de vérifier le degré de satisfaction de l’utilisateur pour des images de catégorie illustrative (cf. section 6.2). Cela permet de savoir, avec l’aide des images 5 et 7 de l’annexe, si ce type d’outil est idéal même lors d’une utilisation prolongée et pour tout contenu. La satisfaction globale du participant est un élément non négligeable à observer durant l’expérience.

Approche

Les données récoltées par l’ensemble de ces tests devraient permettre de répondre aux objectifs de la section 6.1. En effet, l’impact du daltonisme est observé à travers chacun des tests, et principalement aux points 3 et 4. De plus, l’analyse et la comparaison des approches méthodologiques de conception sont réalisées grâce aux tests des points 5 et 6 (expériences 2 et 3). L’analyse des solutions de correction est effectuée par l’intermédiaire des points 3, 7 et 8. Grâce aux informations recueillies par l’ensemble des tests, la comparaison des approches peut finalement être opérée.

6.4.3 Matériel et environnement

Les évaluations sont pratiquées in situ pour respecter les conditions d’utilisation habituelles, comme le proposent [Hartson et Pyla, 2012] à la section 4.5.1. Un enregistrement est évidemment effectué dans le but d’enrichir les données (audio, captures d’écran). La méthode d’évaluation n’est pas particulièrement rigoureuse mais bénéficie de collectes de données quantitatives, comme recommandé à la section 5.5.4. Des métriques précises sont ainsi définies pour comparer efficacement les différents prototypes et leur qualité (conformément aux sections 3.2.1 et 4.5.1) : temps de réalisation de certaines tâches, sévérité et nombre d’erreurs principalement. La plupart des interactions sont donc chronométrées.

Il est également important de veiller à ce que le participant bénéficie de conditions idéales d’utilisation. Dans le cas du daltonisme, la luminosité de l’écran et la lumière environnante sont des aspects contextuels cruciaux lors des tests. C’est pourquoi, il faut à la fois laisser l’utilisateur dans ses conditions habituelles, mais en plus vérifier que ce contexte soit propice au test et semblable aux conditions des autres utilisateurs.

La technique de verbalisation, détaillée à la section 4.5.1, est de ce fait imposée, ainsi qu’une identification maximale des problèmes rencontrés, tout en tenant compte des aspects psychologiques, énoncés à la section 5.5.4. Pour conclure, ces observations et ces questions se porteront à la fois sur l’efficacité, la performance et la satisfaction à travers l’*expérience utilisateur**.

Chapitre 7

Résultats et interprétations

L'objectif de ce chapitre est d'analyser l'ensemble des résultats des expérimentations préparées au chapitre 6. L'annexe E contient une synthèse des observations et des interviews réalisées avec les participants.

Les interprétations suivantes découlent d'une analyse personnelle, appuyée par les études et les documentations citées dans les précédents chapitres de ce travail. Bien que les temps de réalisation pour la plupart des problèmes soient encodés dans les tableaux de l'annexe E, il est jugé nécessaire de n'en tenir compte que si les différences sont conséquentes.

7.1 Observations générales

Correction de couleurs

De manière globale, les utilisateurs paraissent tolérer les modifications de couleurs du logiciel Color Enhancer. Cela leur permet, dans la majorité des situations, de percevoir nettement les informations. Malgré cette satisfaction (observée particulièrement sur le sujet n°4), l'aspect esthétique des images de catégorie 3 (cf. section 6.2) ne semble pas agréable.

Le sujet 4 est une exception pour ce cas-ci. La configuration du logiciel orientée vers la gauche lui paraît supportable, tandis que pour l'ensemble des daltoniens, l'orientation à droite semble dégrader l'aspect esthétique des couleurs. Le réglage à gauche semble être préféré, à l'exception de certains cas, détaillés à l'annexe E.

Diagnostic

L'ensemble des participants interrogés estiment qu'ils ne correspondent pas au diagnostic effectué grâce au test de classement de la figure 6.9. Effectivement, chacun serait doté d'un degré de déficience plus élevé que le résultat obtenu. Cette suggestion est vérifiée à l'aide d'autres tests de dépistage. Un autre test de classement effectué sur le sujet n°3 semble produire un diagnostic potentiellement plus proche de la réalité. De plus, les difficultés éprouvées lors des tests, principalement le choix de couleur, les cartes et les graphiques, renforcent ces résultats.

Contraintes psychologiques des tests

À la fin du test, tous les participants font part de leur satisfaction quant à sa longueur (environ 40 minutes) et la variété des contenus proposés. Cependant, certaines observations sont effectuées concernant leurs difficultés et l'aspect rébarbatif. Les sujets n°4 et 5 par exemple, réagissent vivement lorsqu'ils sont confrontés à certaines situations problématiques. Par "vivement", il faut comprendre qu'ils évoquent une frustration et un stress particuliers au fil du test. Cela est surtout constaté lors du test de classement, que les sujets 2 et 4 complètent pendant un temps assez long par rapport aux autres.

7.2 Analyse des résultats pour chaque cas d'étude

7.2.1 Échelle d'informations

D'après le tableau 9.8, les sujets 2, 3 et 4 sont incapables de répondre correctement à la question du site web de la figure 9.15 (expérience 1). Les sujets 1 et 5, par contre, peuvent différencier les couleurs (de près), mais endéans un temps plus long que le sujet non daltonien. Les typographies plus larges sur les sites web semblent préférables.

Globalement, il est évident que les interfaces 9.15 et 9.27 (expériences 1 et 2) sont problématiques pour les participants, alors qu'ils obtiennent un résultat équivalent à un sujet non daltonien en ce qui concerne le prototype 2 à la figure 9.28 (expérience 3). Par ailleurs, bien que l'utilisation de Color Enhancer est utile pour la plupart des participants dans ce cas-ci, l'effet est moins marquant que la perception du "prototype 2". En effet, la différence de temps de réaction est assez grande pour conclure que le logiciel est moins efficace. De plus, dans le cas du sujet n°5, le logiciel réduit sa capacité de perception.

7.2.2 Liste

D'après les données du tableau 9.9, les différences de temps de réalisation de la tâche demandée ne sont pas aussi importants entre les sujets daltoniens et celui qui ne l'est pas que pour définir l'image du site 9.16 comme un obstacle considérable (expérience 1). Manifestement, il y a une légère difficulté lors de la lecture des listes sur ce site, alors que l'interface 9.27 du prototype 1 leur pose un plus gros obstacle pour l'accès à l'information. En revanche, l'utilisation du logiciel de correction de couleurs et le recours au "prototype 2" semblent parvenir à des résultats préférables.

Cette dernière observation est notable pour chacun des participants. Néanmoins, le sujet non daltonien produit les mêmes performances dans le cas du prototype 2. En définitive, les icônes utilisées demeurent la meilleure solution pour observer des différences dans une liste. En outre, celles-ci doivent être choisies de manière à ce que l'affordance et la visibilité soient respectées (cf. section 3.3). Par exemple, les valeurs négatives du site représenté à la figure 9.16 (expérience 1) sont précédées d'icônes distinctes des autres valeurs, mais moins bien perçues que les icônes du prototype 2 (cf. figure 9.28). Il en ressort donc une meilleure compréhension.

7.2.3 Liens visités

Les liens déjà visités à percevoir, d'après les données affichées dans le tableau 9.10, constituent le cas le plus problématique pour un dyschromate. Dans la majorité des cas, les sujets ne les discernent pas. L'utilisateur le plus légèrement atteint de daltonisme, parvient tout de même à différencier les liens du prototype 2 et sur le site de la figure 9.17 (expérience 1) lorsque leurs couleurs sont transformées. Les sujets 4 et 5 produisent le même résultat uniquement pour le prototype 2, ce qui suppose que l'approche de conception est la plus adaptée dans ce cas.

7.2.4 Formulaire

Le tableau 9.11 ne confère pas de résultat significatif. En effet, si l'on s'acquitte des réponses du sujet n°2, aucun des participants n'est véritablement contraint par sa déficience de vision des couleurs. Seul le sujet n°4 semble se montrer plus performant avec une correction de couleurs plutôt que sans. De même, il acquiert plus de facilité dans l'utilisation du prototype 2 (figure 9.32) que celle du prototype 1 (figure 9.31). Toutefois, les données sont presque équivalentes à celles du participant non daltonien.

7.2.5 Choix de couleur

Au vu du tableau 9.12, seuls les individus dotés du degré de daltonisme le plus important ne parviennent pas à désigner la couleur souhaitée sur le site 9.19 (expérience 1). L'aide affichée après quelques secondes semble inutile pour les utilisateurs, hormis le 5^e. En effet, il est capable de choisir la bonne couleur, bien qu'il prend beaucoup plus de temps à accéder à l'information. Aucune différence considérable n'est constatée en ce qui concerne l'utilisation de Color Enhancer (en prenant l'effet de mémorisation en considération). Le même constat est effectué concernant les prototypes 1 et 2.

7.2.6 Cartes

Il s'avère, selon le tableau 9.13, que le type d'interface présenté à la figure 9.20 est problématique. L'impact n'est pas véritablement ressenti par le sujet n°1. Par contre, les autres sont incomplets dans leur réponse ou hésitent longuement. La différence de performance avec l'aide du logiciel paraît moyenne dans cette situation.

Bien qu'en observant les données, la différence entre les prototypes 1 et 2 n'ait pas l'air conséquente, la majorité des utilisateurs semblent plus satisfaits dans le 2^e cas. Toutefois, l'efficacité reste la même en toutes circonstances. La performance uniquement est accrue.

7.2.7 Graphique

Cette situation est particulièrement intéressante parce qu'elle contient énormément de couleurs différentes. Dans un tel ensemble, une personne non daltonienne a déjà certaines difficultés pour repérer les informations souhaitées, mais cette contrainte est encore plus préoccupante lorsqu'il s'agit de daltoniens. Hormis le graphique b, le tableau 9.14 montre qu'il est effectivement plus difficile pour un daltonien de repérer une information au sein des graphiques du site visible à la figure 9.22 (expérience 1).

Chaque partie de graphique à identifier affecte soit la réussite, soit le temps de réalisation pour au moins un des utilisateurs interrogés. D'autre part, l'interaction avec ceux-ci, qui permettrait d'améliorer la communication, n'est pas souvent réalisée (cf. les méthodes d'interactivité de la section 5.3.2).

Une constatation essentielle est que le logiciel de correction de couleurs permet de parvenir à un meilleur résultat. Une exception est remarquée concernant les sujets 1 et 2, vis-à-vis du graphique d; et le sujet 3, par rapport au graphique f. Il est probable que certaines couleurs modifiées se confondent alors que ce n'est pas le cas sans filtre de correction.

Une légère différence peut également être remarquée entre les prototypes 1 et 2, surtout pour les individus atteints d'un degré de daltonisme plus élevé. Chacun des participants déclarent tout de même préférer la seconde création, spécifiquement le 5^e, qui soutient la méthode interactive comme une bonne astuce de conception. Celui-ci utilise le même mécanisme pour les autres parties de graphiques sur le site de la figure 9.22 (expérience 1), qu'il n'arrive pas à identifier en premier lieu.

7.2.8 Hors catégorie

Le tableau 9.15 confirme l'effet désagréable concernant l'aspect esthétique des couleurs altérées. En effet, les sujets, hormis le 5^e, améliore leur perception par rapport à la figure 9.21, à l'aide du logiciel Color Enhancer. Cependant, cette performance est généralement suivie d'une insatisfaction esthétique. Seul le sujet 3 ne semble pas perturbé.

En outre, la figure 9.24 dont la coloration est transformée ne convient pas aux participants, à l'exception du 4^e. En réalité, il semble que cela dépende de la gravité du changement de couleurs. Par ailleurs, une navigation habituelle avec le logiciel montre qu'il n'est pas adapté durant une utilisation prolongée.

Conformément aux données à propos des thèmes des deux interfaces conçues pour les expérimentations, il convient de favoriser les couleurs plus claires et une différence de contraste suffisante entre le texte et l'arrière-plan. L'interface conçue avec une méthodologie adaptée est privilégiée.

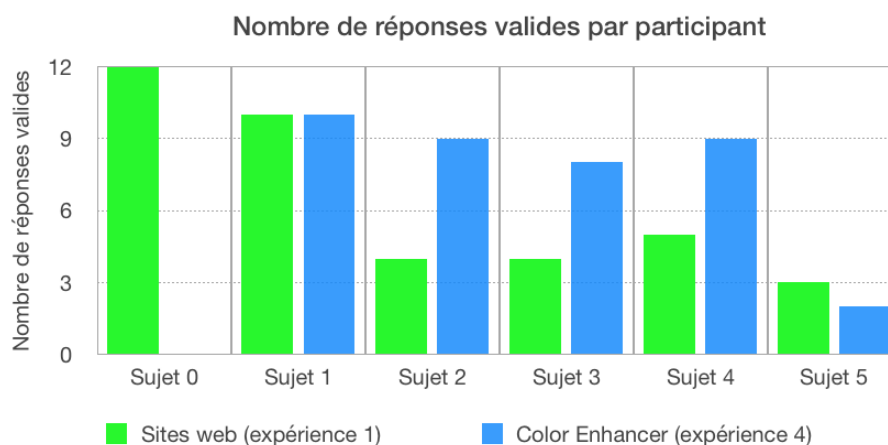


FIGURE 7.1 – Nombre de réponses valides pour chaque participant toutes situations confondues correspondant aux sites web problématiques avec et sans correction de couleurs

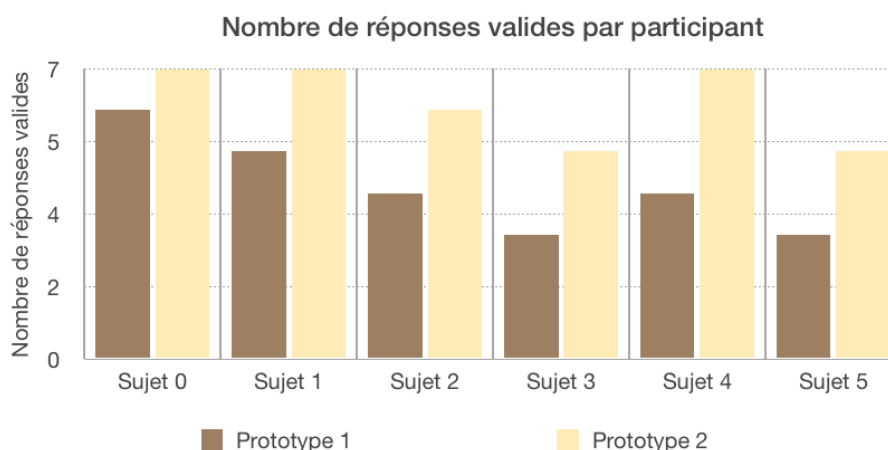


FIGURE 7.2 – Nombre de réponses valides pour chaque participant toutes situations confondues correspondant aux interfaces 1 et 2

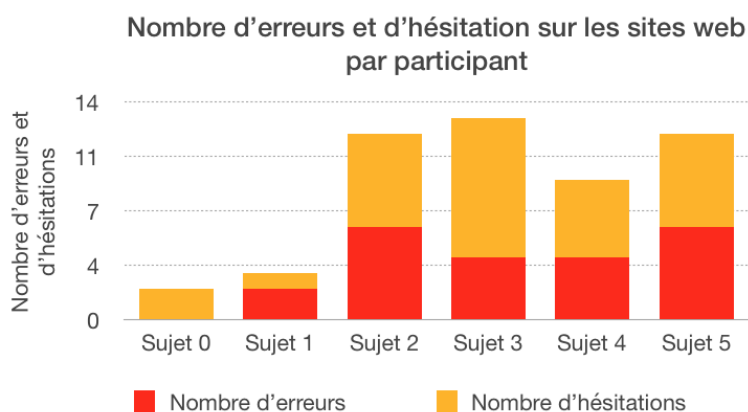


FIGURE 7.3 – Nombre d'erreurs et d'hésitations pour chaque participant toutes situations confondues sur les sites web

7.3 Analyse comparative

7.3.1 Comparaison des sujets

D'une manière générale, les données recueillies confirment que les personnes pourvues du degré de dyschromatopsie le plus élevé sont ceux qui comptent le plus grand nombre de difficultés rencontrées. Cette tendance est nettement visible sur les figures 7.1 et 7.2. Seul le sujet 4 contredit cette tendance, ce qui est probablement dû à ses compétences informatiques. Il faut tout de même noter que ces graphiques ne comprennent que la somme des réponses valides (sans hésitation) provenant des participants concernant l'ensemble des situations pertinentes.

La figure 7.3 expose l'accumulation des erreurs et des hésitations dans le cas des sites problématiques sans correction de couleurs. Elle témoigne seulement de la différence entre le sujet n°1 et les autres. Il n'y a pas d'autre véritable structure à entrevoir. La tendance générale est donc à nuancer. En effet, les utilisateurs font preuve de résultats radicalement différents dans certains cas. D'après le tableau 9.8, par exemple, le sujet n°5 présente moins de difficultés pour accéder à l'information que les autres, de degré de déficience plus faible.

Comme expliqué au chapitre 2, les types de dyschromatopsie ont des effets différents. De plus, chaque daltonien, et même chaque individu, a une vision et des caractéristiques qui lui sont propres. Étonnement, il est donc possible qu'une situation soit problématique pour un utilisateur mais pas pour un autre, et que dans une autre situation l'inverse se produise. C'est pourquoi il est crucial de considérer le problème dans son ensemble et de ne pas se restreindre à une seule catégorie de personnes.

Une remarque importante concernant le dernier sujet par rapport aux autres est également à relever. Il est probable que par habitude aux difficultés qu'il rencontre (étant daltonien de degré le plus élevé) et de par ses compétences informatiques moyennes, il ait plus souvent tendance à utiliser les méthodes dites interactives pour accéder plus facilement aux informations. Sans cette astuce, il a rarement la possibilité d'obtenir un résultat correct lors du test. Les autres participants ayant plus de facilité naturelle, ils auraient moins tendance à chercher les astuces potentielles pour obtenir une information.

7.3.2 Comparaison des situations

En se fiant aux données récoltées, le degré de difficulté peut être attribué aux types d'interfaces de l'expérience n°1 dans l'ordre suivant (des contraintes les plus fortes aux plus faibles) :

1. liens visités ;
2. image de type "pomme dans un arbre" ;
3. graphique ;
4. échelle d'informations ;
5. carte ;
6. choix de couleurs ;
7. liste ;

8. formulaire ;
9. fond d'écran.

Ce constat est basé sur :

- le taux de réussite (efficacité) ;
- le nombre d'hésitations ;
- le temps de réalisation de la tâche (performance) ;
- le nombre d'individus impliqués (le fait d'impliquer la personne la plus légèrement atteinte est un bon indice de gravité) ;
- l'importance de la différence avec le sujet non daltonien (surtout pour le type "liste").

Il est bon de remarquer que les indices de performances mesurés sont bien utiles dans l'analyse. Bien que l'efficacité soit l'un des aspects les plus évidents pour définir la qualité d'une interaction, l'attribut de performance est un élément dont il faut tenir compte pour mesurer les limites de l'*interaction homme-machine**.

Catégorisation des images

Du classement proposé ci-dessus, une répartition du niveau de besoin de correction pourrait être associée. En revanche, les différents types d'aides, énoncés à la section 6.3, ne sont pas étudiés. Il est toutefois possible d'énoncer les types d'interfaces dont la correction de Color Enhancer n'est pas véritablement avantageuse.

Peu d'interprétations peuvent réellement découler de cette étude en ce qui concerne la classification des images présentées à la section 6.2. Toutefois, une des informations à retenir est que les interfaces plutôt envisagées comme "techniques" restent esthétiquement agréables après une transformation de couleurs. Mais ces couleurs entraînent parfois d'autres confusions, comme dans le cas des graphiques de la figure 9.22. Par contre, les mêmes couleurs transformées pour des images d'ordre "illustratives" ne sont pas appréciées.

En ce qui concerne la catégorie "intermédiaire" définie, les données font l'objet d'interprétations diverses. Le besoin de correction est présent mais la satisfaction esthétique engendrée n'est pas optimale dans tous les cas. De plus, les dimensions culturelles et relatives aux émotions dépendent d'une personne à l'autre et d'un contenu spécifique à l'autre. Aucune conclusion pour cette catégorie ne peut être déterminée.

Tableau récapitulatif

Le tableau suivant synthétise l'analyse effectuée pour chacune des situations présentées lors des expérimentations. Les symboles utilisés sont ceux définis dans le tableau 9.1. "L'efficacité" représentée dénote à quel point l'approche s'avère utile pour l'ensemble des sujets participant aux évaluations. La satisfaction esthétique n'est pas considérée. Les notes calculées sont des appréciations globales de chaque approche. Elles proviennent d'une addition de l'efficacité attribuée aux cas pertinents :

- bonne efficacité : 1 ;
- mauvaise efficacité : 0 ;
- efficacité moyenne : entre 0 et 0.5.

Tableau 7.1 – Synthèse des résultats comparant les différentes approches

Types d'interfaces priorisées par niveau de difficulté et besoin de solu- tion	Efficacité moyenne des sites web pro- blématiques (expérience 1)	Efficacité moyenne du logiciel Co- lor Enhancer (expérience 4)	Efficacité moyenne du prototype 1 (expérience 2)	Efficacité moyenne du prototype 2 (expérience 3)
1. Liens visités	✗	✗	✗	!!!
2. Intermédiaire	✗	!	/	/
3. Graphique	✗	!!	!!	✓
4. Échelle d'informa- tions	✗	!!	✗	✓
5. Carte	!!	!	✓	✓
6. Choix de couleur	!	!	✓	✓
7. Liste	✓	✓	✗	✓
8. Formulaire	!	!	!!	!
9. Illustrative	✓	✗	/	/
Résultat moyen	2.25/7	3/7	2.5/7	5.7/7

7.3.3 Comparaison des approches

En définitive, il est clair que certains contenus sur Internet, comme ceux présentés lors des tests, sont problématiques sur Internet. Cependant, ceux-ci sont assez rares et leurs répercussions sont trop faibles pour qu'une entreprise ou une organisation quelconque y envisage un intérêt particulier pour développer une solution satisfaisante. En fonction du tableau 7.1, les interprétations suivantes peuvent être affirmées.

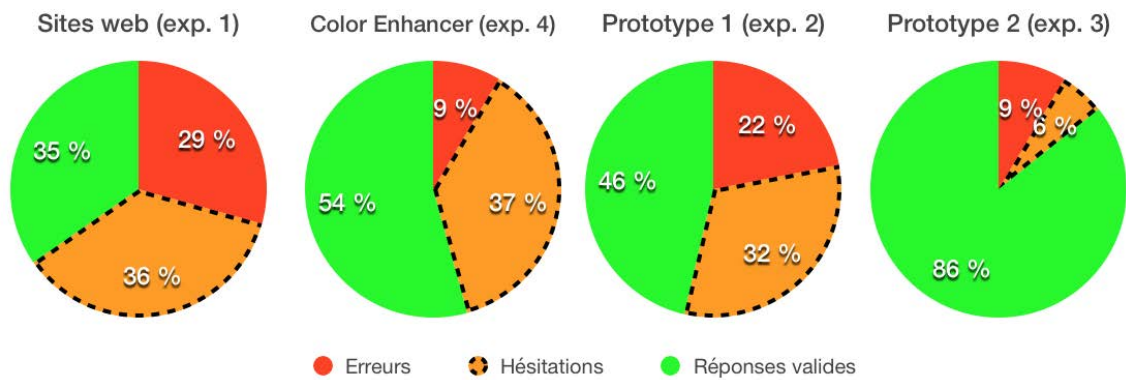


FIGURE 7.4 – Graphiques des pourcentages de réponses valides, d’hésitations et d’erreurs pour l’ensemble des participants toutes situations confondues correspondant à chaque approche

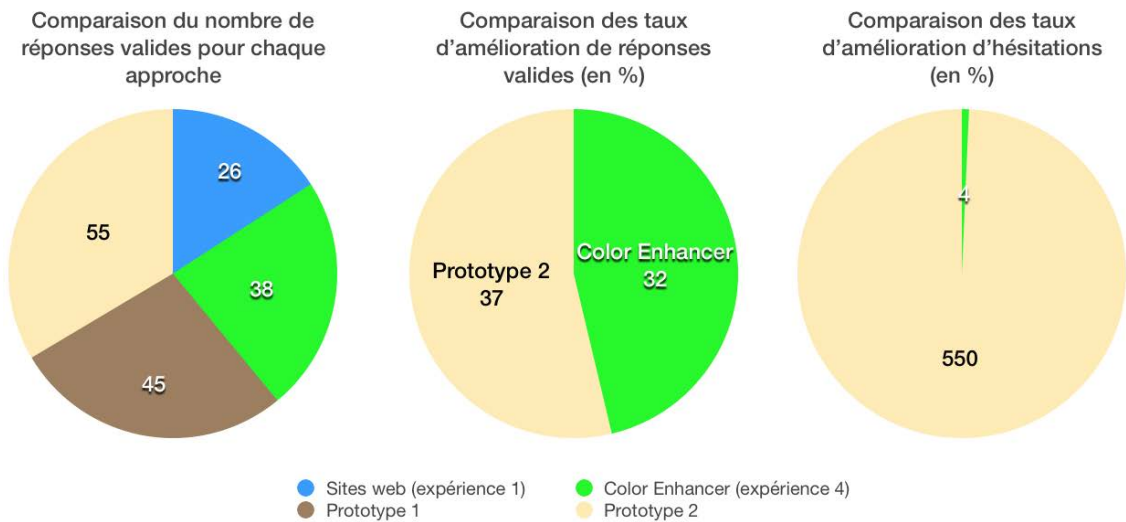


FIGURE 7.5 – Graphiques de comparaison des approches pour l’ensemble des participants toutes situations confondues

Approche en aval de la conception

Le taux de réussite aux tests et l’amélioration de la performance avec l’aide du logiciel Color Enhancer (cf. figure 6.8) est moyenne. Si on se fie aux résultats du tableau 7.1, la différence avec la situation sans aide est très faible. Elle est relative à la situation rencontrée et à la personne (probablement en fonction du type et du degré de déficience).

Néanmoins, si l’on se fie au graphique de la figure 7.1, le nombre de réponses exactes est supérieur lors de l’utilisation de l’application. Ce constat est particulièrement saisissant dans le cas du sujet n°4, qui s’étonne de ses performances en étant assisté par l’extension Chrome, alors qu’il éprouvait beaucoup de difficultés auparavant. Le sujet n°5, au contraire, ne voit pas beaucoup d’intérêt à l’utilisation du logiciel. Par conséquent, cette approche peut s’avérer efficace, mais n’est pas idéale dans tous les contextes d’utilisation, d’après les analyses précédentes.

Par ailleurs, certaines configurations sont plus utilisées et plus appropriées que d'autres (cf. section 6.3.2). La première rangée d'étoiles, semble la plus efficace pour l'ensemble des sujets. Cependant, cette configuration est jugée plus désagréable que les autres si elle est appliquée sur une image de catégorie illustrative. Le deuxième paramètre utilisé (cf. section 6.3.2) est déterminant lui aussi. La plupart du temps, il est plus efficace lorsqu'il est orienté vers la gauche. Seule la perception de l'interface 9.15, et certaines parties des graphiques visibles à la figure 9.22, est optimisée alors que le filtre est configuré vers la droite. Mais cette dernière personnalisation est bien moins idéale que la première du point de vue esthétique.

Approche en amont de la conception

Si une solution de correction n'est pas efficace en toutes circonstances, une méthodologie de conception appropriée peut l'être. En effet, "le prototype 2" (expérience 3), dont la page d'accueil est figuré à l'image 9.26, conserve de très bons résultats tout au long du test, conformément au tableau 7.1 et au graphique de la figure 7.2. Les seules situations demeurant préoccupantes sont les liens visités (2 personnes sur 4) et le formulaire. Néanmoins, le premier cas est le problème le plus compliqué à résoudre, et le deuxième est problématique pour un seul sujet qui n'est pas du tout familiarisé avec ce type de contenu.

Les graphiques affichés à la figure 7.4 et le tableau 7.1 démontrent que le prototype 2 correspond à la meilleure approche. L'utilisation de Color Enhancer confère les seconds meilleurs résultats. Il faut remarquer que la différence entre ces deux approches n'est pas considérable en terme du nombre de réponses valides mais plutôt en terme du nombre d'hésitations (drastiquement réduit), comme le montrent les deux graphiques de droite sur la figure 7.5. Le graphique de gauche compare les différentes approches en ce qui concerne le nombre de réponses valides. Les deux autres, en revanche, affiche le taux d'amélioration de l'utilisation de "Color Enhancer" (expérience 2) par rapport aux "sites web" (expérience 1), comparé au taux d'amélioration de la navigation sur "le prototype 2" (expérience 3) par rapport au "prototype 1" (expérience 2). En définitive, l'approche "en amont" de la conception serait préférable à celle "en aval".

Malgré tout, certaines idées de conception, telles que les méthodes interactives (cf. section 5.3.2), principalement employées pour les graphiques ou les cartes, n'ont pas été mises à profit (cf. section 7.2.7) par la majorité des participants. Il faut souligner que le rapport de contraste est généralement suffisant. Lorsqu'il ne l'est pas, comme dans le cas du sujet n°5, le recours à l'interactivité est pratiquée. La solution produisant la rapidité d'exécution la plus importante lors des tests, pour un effort de conception moindre, est l'utilisation d'un bon rapport de contraste. Suite aux expériences, il semble que l'utilisation d'alternatives à la couleur s'avère particulièrement utile. En définitive, les solutions énoncées tout au long du chapitre 5 concernant les normes d'accessibilité semblent être efficaces.

7.3.4 Comparaison des méthodologies

D’après les tableaux de l’annexe E et les figures 7.4 et 7.5, tous les résultats sont favorables au “mini-site web” créé avec une méthodologie de conception d’interfaces adaptée à la dyschromatopsie (cf. chapitre 5). L’apport de ces méthodes serait donc globalement significatif. Néanmoins, les différences de résultats concernant les tableaux 9.11, 9.12, 9.13 ne sont pas considérables. En outre, il faut noter que certains intervalles de performance entre les deux sites sont également décelés dans le cas du participant non daltonien.

Impacts et confirmation de la méthodologie

Il semble qu’en général le “prototype 2” ne soit pas uniquement appropriée au daltonisme. D’après les expérimentations, l’utilité de se conformer aux normes détaillées à la section 5.3.2 se révèle plus universel.

Bien que certaines situations l’exigent, il ne paraît donc pas nécessaire de considérer le daltonisme comme un cas particulier. Le besoin de distinguer les différentes méthodes de conception d’interfaces ne semble pas fondé. De plus, cette méthodologie, si elle est rigoureusement appliquée, peut néanmoins s’avérer gourmande en ressources.

En revanche, il s’agit indéniablement d’une contrainte contextuelle supplémentaire à prendre en considération si le cas se présente. Les problèmes d’accessibilité (cf. section 3.4) ne sont pas toujours bien assimilés dans le domaine informatique. C’est pourquoi certaines bonnes pratiques comme celles détaillées au chapitre 5 sont utiles au bon développement de logiciels informatiques.

En somme, la prise de conscience du problème dès le début de la conception est légitime, mais les principes qui en dépendent peuvent être totalement intégrées au processus de conception classique. Au vu de la flexibilité de ce dernier, cette modification devrait être parfaitement tolérée.

Chapitre 8

Limites

Il est important de considérer que la validité de l'analyse qui découle des expérimentations réalisées dans cette étude n'est pas sans obstacles. Par souci d'objectivité et afin d'améliorer les éventuels travaux futurs, ce chapitre dresse une liste des différentes menaces potentielles aux interprétations fournies au chapitre 7.

8.1 Influences des contraintes liées aux participants

Caractéristiques des individus

Les données collectées lors des tests sont issues d'une *expérience utilisateur** qui peut être différente d'un sujet à l'autre. Les caractéristiques intrinsèques des participants telles que l'âge ou l'expérience informatique peuvent impacter l'interaction. C'est pourquoi celles-ci sont capturées pendant l'interview afin d'estimer les biais éventuels. Il est probable, par exemple, que le sujet n°2 présente des difficultés lors du remplissage d'un formulaire à cause de ses compétences informatiques.

La différence de niveau et de type de déficience influe fortement sur l'interaction. Cette diversité permet tout de même de conférer des résultats plus universels. Il est important de savoir si toutes les personnes daltoniennes réagissent de la même manière.

Facteurs psychologiques

Certains participants ont fait part de leurs difficultés prononcées pour certains problèmes de la vie quotidienne, ainsi que leur souvenir par rapport aux diagnostics réalisés. Plusieurs situations présentées lors des tests peuvent faire ressurgir ces préoccupations. Cette circonstance stressante, le découragement par rapport aux différents tests ou le sentiment de jugement que peuvent encourir une évaluation de ce type sont des facteurs psychologiques qui peuvent influencer les résultats.

Volonté de satisfaction

Comme beaucoup de processus expérimentaux, les participants ont tendance à vouloir satisfaire l'intervieweur ou simplement vouloir réaliser les meilleures performances possibles. Par exemple, il est possible que l'utilisateur fausse les résultats en dissimulant ses difficultés. Il convient donc de rester vigilant concernant cette préoccupation.

Mémorisation

L'un des buts du protocole établi est de pallier les biais relatifs à la mémorisation. De plus, les prototypes créés se basent sur les mêmes contraintes de conception. Le fait de présenter les interfaces des expériences 2 et 3 l'une après l'autre lors des tests favorise la deuxième du point de vue de la performance.

Par conséquent, les interfaces sont conçues de façon à ne pas faire face exactement aux mêmes données, problèmes et interactions. Toutefois, cette stratégie ne permet probablement pas de se soustraire à toutes les répercussions. Il est possible que certains participants aux études mémorisent une situation problématique pour favoriser son comportement lors d'une interaction avec une nouvelle situation proche de celle mémorisée.

Situation logique ou familière

Selon les compétences et les expériences de l'utilisateur, certaines interfaces problématiques peuvent être perçues plus facilement grâce à la familiarité avec celles-ci. Par exemple, le site de la bbc semble comporter une situation très similaire aux indications de caractéristiques des casques audios au sein des prototypes conçus pour les tests.

Certaines réponses, comme celles relatives à la figure 9.20, peuvent également relever de la logique. En effet, les prix les plus élevés sont connus pour se situer au centre de Paris. Cependant, cette contrainte est légèrement levée par l'aspect "semi-guidé" de l'interview qui permet d'approfondir le raisonnement.

8.2 Menaces provenant du matériel et de l'environnement

La procédure de test est strictement suivie afin d'obtenir les données les plus neutres possibles. Il n'est pas possible de suivre constamment les recommandations, mais un maximum d'objectivité et de rigueur est développé.

Filtres appropriés

Il est possible que les filtres de correction utilisés dans la dernière phase des expérimentations ne soient pas totalement adaptés à la vision des daltoniens (cf. 6.3.2). En effet, il est d'abord impossible de se mettre à la place du participant et de savoir s'il effectue correctement la configuration. D'autre part, même si l'utilisateur configure le logiciel convenablement, il se peut que celui-ci ne soit pas fiable. L'analyse réalisée dans le cadre d'un travail préalable montre que ces applications ne sont

pas appropriées dans tous les cas. Malgré tout, un maximum de vérifications sont effectuées. Le test de classement permet, entre autres, de valider cette correction de couleurs.

Test de classement

Chaque daltonien est exposé au test de classement visible à la figure 6.9, permettant de définir leur degré de déficience. Cependant, les résultats ne sont pas ceux escomptés. Les problèmes relatifs au test sont effectivement possibles et exprimés à la section 2.5 et à l'annexe B. Comme cela est décrit, le test a pu être complété correctement par des daltoniens légers et moyens. Au vu de la faiblesse des diagnostics, d'autres tests comme celui d'Ishihara ont été effectués afin de renforcer l'analyse.

Contexte d'utilisation

La qualité des interactions dépend en partie du contexte d'utilisation. À l'exception d'une personne, les utilisateurs ont pratiqué les évaluations en respect des conditions environnementales habituelles. Toutefois, les résultats peuvent être influencés par la différence d'environnement entre chacun des individus.

Absence d'interactivité

Comme cela a été décrit dans l'analyse préalable, à l'exception du sujet n°5, l'interaction avec les interfaces, qui permettrait d'améliorer la communication, n'est pas souvent réalisée. Il est possible que les conditions du test empêchent les utilisateurs d'utiliser cette méthode. En effet, les sujets s'estimant parfois "jugés", ils tenteraient de dissimuler l'utilisation d'une "astuce", même s'il est bien rappelé qu'ils ont toute liberté d'action. Cette méthode n'a donc pas pu être véritablement évaluée.

Différence de contenu

Malgré la volonté de suivre exactement les mêmes conditions expérimentales, certaines sont altérées. En effet, les sites web (expériences 1 et 4), par exemple, ne contiennent pas les mêmes données en permanence. Il faut donc prêter attention aux différences potentielles que ces changements pourraient engendrer. Les divergences mineures, comme des temps de réaction légèrement plus longs, ne sont donc pas à prendre en compte.

Enregistrement des données

À défaut de moyens suffisants, les enregistrements de données sont pratiqués par une seule personne. Celle-ci réalise donc les observations, l'interview, les prises de notes, l'enregistrement audio ou vidéo, etc. Ce procédé entraîne probablement la perte de certaines informations à observer. Toutefois, des outils logiciels sont à disposition afin d'assister l'enregistrement : logiciel de capture audio, chronomètre, etc.

Par ailleurs, le temps de réalisation calculé n'est qu'une estimation. Aucune contrainte de temps n'est imposée à l'utilisateur dès le début du test. D'autre part, les notes ne contiennent pas toutes les observations possibles. Toutefois, les détails nécessaires à l'analyse ont été rigoureusement considérés. Par conséquent, les observations effectuées devraient être suffisantes dans le cas de cette étude.

En revanche, par manque de temps et de disponibilité des participants, aucun enregistrement du suivi du regard, grâce à un oculomètre, n'est réalisé. La technique implique une longue analyse à effectuer et est surtout utile pour l'exploration de contenu.

D'autre part, malgré la nécessité de mener le test oralement durant toute l'expérience, les participants ne pensent pas à exercer en continu la méthode de verbalisation. Il en ressort probablement certains manques dans les observations.

8.3 Biais de la conception

Critères de sélection

Le choix des problèmes d'interface a une influence sur l'analyse globale des résultats. Trouver les bons critères et catégories de situations est essentiel. C'est pourquoi les contenus sont variés et dépendent des catégories définies à la section 6.2. Cependant, ce choix entraîne une restriction des possibilités d'interaction à un échantillon limité d'interfaces. De surcroît, le temps consacré à chaque étude ne permet pas de valider les problèmes d'interaction pour une utilisation prolongée et une navigation réelle des utilisateurs.

Particularités relatives à chaque concepteur

Les deux personnes qui ont permis l'implémentation des prototypes n'ont évidemment pas les mêmes caractéristiques. Les compétences informatiques, par exemple, ont un impact majeur sur cette conception. De plus, la conscientisation de la déficience de vision des couleurs et la connaissance des principes de résolution du problème a également une incidence considérable. Il est plausible que les différences de résultats entre les deux prototypes de l'annexe D soient affectées par ce principe.

Contraintes de conception

La conception des interfaces implémentées par des programmeurs externes à ce travail a pu être influencée par les contraintes données à l'annexe D. La présentation, les données et les techniques employées sont laissées au choix du designer, mais elles se basent sur un début de conception préalablement élaborée dans ce travail. De plus, le choix des couleurs a été guidé et le temps accordé au développement n'a pas été très important.

Méthodologie

Les méthodologies appliquées pour l'élaboration des deux prototypes intégrés ne sont pas complètes à cause d'un temps limité. Les méthodes employées sont fortement ciblées sur l'étape de conception, principalement sur les bonnes pratiques et normes ergonomiques en termes d'*UX** détaillées aux chapitres 4 et 5. Il aurait été préférable de construire et d'évaluer un projet basé sur une méthodologie complète. Cependant, cette stratégie est extrêmement longue et gourmande en ressources.

Conception aveugle

Malgré les divers outils et méthodes présentées au chapitre 5, une difficulté persiste pour concevoir tout prototype dont la perception n'est pas la même que le développeur lui-même. La méthodologie à appliquer ne comprenant pas de test utilisateur préalable, il est impossible pour les concepteurs de pouvoir vérifier réellement leur création.

8.4 Validité statistique

Bien que selon [Hartson et Pyla, 2012], 5 participants suffisent pour évaluer une interface, ces tests sont particuliers. En effet, ils n'ont pas pour but d'améliorer de manière itérative un logiciel mais de confirmer des hypothèses liées à la conception d'interfaces pour les daltoniens. Par conséquent, un plus grand nombre d'utilisateurs serait nécessaire pour produire une meilleure fiabilité statistique.

D'autre part, il serait utile de procéder à un protocole de test plus rigoureux afin de supprimer les différents biais expliqués ci-dessus et atteindre une objectivité accrue. Par exemple, il serait possible de réduire l'effet de mémorisation en étalant le test sur une durée plus longue et en variant la conception. Mais l'effet de fatigue serait alors davantage présent.

Par ailleurs, la récolte et l'analyse de données pourraient être réalisées avec un matériel plus approprié pour obtenir une validité statistique plus grande. Il est également important de mentionner que l'interprétation des données effectuée au chapitre 7 découle d'une analyse personnelle.

Chapitre 9

Conclusion

9.1 Bilan

L'accessibilité est un domaine large qui occupe une place de plus en plus importante en ingénierie du logiciel. La négligence des principes qui en découlent a des répercussions incontestables en interaction homme-machine. Une des particularités inhérente à l'accessibilité est l'intérêt principal de ce travail. Il s'agit de l'étude de l'influence de la dyschromatopsie sur les interfaces informatiques, ainsi que la recherche de solutions adaptées.

Afin d'en améliorer la compréhension, la première partie dresse un état de l'art consacré d'une part à l'anomalie et ses conséquences, et d'autre part à l'exploration des méthodes de conception d'interfaces. L'étude qui suit a permis de fournir des réponses aux principales interrogations. En effet, les expériences réalisées ont pour but de montrer l'impact du daltonisme sur certaines interfaces sélectionnées. Par ailleurs, l'analyse des données récoltées donne lieu à des conclusions sur le rôle associé à chaque approche de conception déterminée.

9.2 Réponses et limites

En premier lieu, les études ont montré que la plupart des situations choisies sont effectivement problématiques dans ce contexte d'accessibilité. Par ailleurs, au vu des résultats présentés, chaque type et degré de déficience a des effets différents. Certaines conditions contraignent une partie des utilisateurs, sans que les autres soient affectés. Dans un souci d'accessibilité, il est crucial de ne pas se restreindre au développement d'une solution qui n'est pas universelle. Par ailleurs, un degré de difficulté a été attribué à chacun de ces contenus, et certains types de solutions ergonomiques ont pu être évalués.

Afin de pallier les problèmes, des solutions de correction de couleurs à appliquer sur les contenus web existent. L'analyse a permis d'affirmer qu'il y a non seulement une différence d'efficacité avec cette configuration, mais également une performance accrue. Toutefois, cette qualité d'interaction n'est pas observée en toutes circonstances, et une dégradation du confort visuel est également constatée. Globalement, l'utilité du logiciel évalué est donc assez faible.

L'autre démarche consistant à prendre en considération le contexte d'utilisation dès le début de la conception est plus appropriée. Les études menées ont permis de confronter une méthodologie qui comprend des normes d'accessibilité avec une méthodologie qui ne s'en préoccupe pas. Les résultats sont assurément en faveur de la première. De plus, ce succès est bien supérieur par rapport à la solution de correction de couleurs. Les différents types d'aides identifiés améliorent l'accessibilité, à l'exception des méthodes d'interactivité utiles à un seul participant.

Bien que cette prise de conscience améliore l'utilisabilité de manière considérable, elle ne favorise pas exclusivement les personnes atteintes de daltonisme. En réalité, les bonnes pratiques ergonomiques sont recommandées pour tout développement logiciel. Si une contrainte d'accessibilité est connue dans la construction d'un programme informatique, alors l'application des normes spécifiques à l'accessibilité est essentielle. Cependant, au vu des limites actuelles de moyens financiers accordés à certains projets, il est probable qu'une solution de correction de couleurs soit plus rentable.

Par conséquent, la nécessité de développer une méthodologie spécifique à l'adaptation des interfaces pour les daltoniens ne semble pas véritablement justifiée. Une attention particulière accordée à cette contrainte, dès le début du développement, devrait s'avérer suffisante. Le processus de conception d'interfaces, grâce à sa flexibilité, devrait supporter une telle intégration.

En conclusion, l'ensemble des méthodes proposées demeurent une contribution utile aux méthodologies de conception d'interfaces afin d'améliorer l'accessibilité du web pour les personnes daltoniennes. Il paraît crucial de favoriser cette démarche plutôt que d'assurer une conception universelle en fin de production. Malgré tout, cette notion d'accessibilité suscite toujours l'intérêt de la recherche dans le domaine informatique.

9.3 Perspectives

Ce travail est une ébauche à la recherche en ce qui concerne l'amélioration de l'accessibilité. Bien que ce domaine soit assez large, des pistes de travaux futurs sont proposées dans cette section.

En premier lieu, les prototypes réalisés pour les expérimentations ne correspondent pas à l'intégralité des éléments méthodologiques discutés dans les chapitres 4 et 5. Par conséquent, il serait intéressant d'évaluer la conception de plusieurs logiciels basée sur ces méthodes pendant une durée plus longue. Cette étude potentielle, plus complète, permettrait de valider concrètement le bilan théorique dérivé des constatations effectuées dans l'état de l'art concernant le daltonisme.

Par ailleurs, il est nécessaire de recruter un plus grand nombre de participants dans le but de fournir une meilleure objectivité. Il serait également utile d'avoir recours à une procédure expérimentale plus rigoureuse afin d'observer un maximum d'informations. Par exemple, des données supplémentaires peuvent être recueillies à l'aide de matériel adapté. Un chronométrage des tâches effectuées peut être facilement implémenté, et permettrait éventuellement de développer des tests à distance avec un panel d'utilisateurs plus important. Ce type d'outil nécessite par ailleurs une analyse ultérieure approfondie. Mais dans ce contexte, les contraintes de conception à présenter

aux développeurs sont à réévaluer. De surcroît, le recours à l'oculométrie consoliderait les résultats en profitant d'une analyse supplémentaire. Un diagnostic plus fiable du degré et du type de dyschromatopsie serait également utile.

D'autre part, l'emploi du logiciel de correction de couleurs pourrait être prolongé de plusieurs jours afin d'observer des informations qui ne se révèlent souvent que dans les conditions habituelles d'utilisation. En effet, une navigation brève de la part des participants aux tests sur des sites de leur choix entraîne déjà un inconfort visuel.

De plus, cette aide logicielle pourrait être plus aboutie. Un travail d'apprentissage approfondi des différents types de solutions, une configuration plus adaptée aux besoins associés au daltonisme et aux différents contenus d'images optimiseraient la qualité de l'outil. Afin de mener cette amélioration, la classification des types d'interfaces déjà proposée dans cette étude est à vérifier et à enrichir. Il serait d'ailleurs intéressant de pouvoir associer à chaque type de problème l'aide la plus adaptée. Cette dernière perspective comprendrait les types d'aides réalisés lors de la conception d'interfaces, comme le chapitre 5 en donne un premier aperçu.

Les méthodes d'interactivité détaillées au chapitre 5 n'ont pas pu être évaluées correctement. Elles sont pourtant une manière d'améliorer l'accessibilité. Une perspective serait de comparer l'efficacité et la performance de ce type de mécanisme par rapport à certaines conceptions typiques comme l'utilisation de motifs ou d'autres alternatives à la couleur. Dans ce cas, la différence de performance avec les sujets non daltoniens est un facteur déterminant à observer.

En dernier lieu, ce travail concerne exclusivement l'amélioration de l'accessibilité du web pour les personnes daltoniennes. L'analyse est assez abstraite pour en dériver certaines interprétations à propos des contenus déployés sur l'ensemble des supports informatiques. Mais malgré tout, ces affirmations devrait faire l'objet d'une vérification. De plus, le domaine étant considérable, les conclusions énoncées pourraient être élargies à l'ensemble des problèmes d'accessibilité.

Bibliographie

- BALBO, S. et COUTAZ, J. (1994). *Evaluation ergonomique des interfaces utilisateurs : un pas vers l'automatisation*. Thèse de doctorat, Laboratoire de génie informatique, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- BASTIEN, J. C., LEULIER, C. et SCAPIN, D. L. (1998). L'ergonomie des sites web. *Créer et maintenir un service Web*, page 111–173.
- BORNET, C. et BRANGIER, E. (2013). La méthode des personas : principes, intérêts et limites. *Bulletin de psychologie*, 524(2):115–134.
- BURGER, D. (2016). Accessiweb. <http://www.accessiweb.org>. Date of access 3/07/2016.
- CANTERS, R. (2016). Anysurfer, pour un internet plus accessible. <http://www.anysurfer.be>. Date of access 3/07/2016.
- CARROLL, J. M., ANDERSON, N. S., OLSON, J. R. *et al.* (1987). *Mental models in human-computer interaction : Research issues about what the user of software knows*. Numéro 12. National Academies.
- CHAPMAN, C. N. et MILHAM, R. P. (2006). The personas' new clothes : Methodological and practical arguments against a popular method. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(5):634–636.
- CHIN, J. P., DIEHL, V. A. et NORMAN, K. L. (1988). *Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface*, page 213–218. ACM.
- CLARIDGE, N. et KIRAKOWSKI, J. (2013). Wammi web usability questionnaire. <http://www.wammi.com/index.html>. Dernière visite le 15 mai 2016.
- COOPER, A., REINMANN, R. et CRONIN, D. (2007). *About Face 3.0 : The essentials of interaction design*. John Wiley Sons, 3rd édition.
- COUTAZ, J. (2002). Interfaces homme-machine : un regard critique. grenoble, laboratoire de génie informatique. pages 1–26.
- DIX, A., FINLAY, J., ABWOD, G. D. et BEALE, R. (2004). *Human-Computer Interaction*. Springer, Edinburgh, England, 3rd édition.
- DORDET, Y. (1990). *La colorimétrie principes et applications*. Eyrolles, Paris, France.
- DUMAS, B. (2014). Human machine interaction (12) ux design guidelines. Université de Namur, University Lecture.

- ELIAS, M. et LAFAIT, J. (2006). *La couleur lumière, vision et matériaux*. Belin, Paris, France.
- HARTSON, R. et PYLA, P. (2012). *The UX Book : Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1st édition.
- INCE, D. (1994). *ISO 9001 and Software Quality Assurance*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 1st édition.
- INCE, D. C. (1995). *Introduction to Software Quality Assurance and Its Implementation*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA.
- ISHIHARA, S. (2000). *Ishihara Test Chart Books, for Color Deficiency*.
- JOHNSON, J. (2010). *Designing with the Mind in Mind : Simple Guide to Understanding User Interface Design Rules*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- JOLY, M. (2015). *Introduction à l'analyse de l'image-3e édition*. Armand Colin.
- KAN, S. H. (2002). *Metrics and Models in Software Quality Engineering*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2nd édition.
- LECLERCQ, T., HEYMANS, P. et CORDY, M. (2015). Évaluation et amélioration d'un générateur d'interfaces - cas d'étude : Confetools. Rapport technique, Faculté d'informatique, Université de Namur.
- LEVY, A. (2016). Rgaa.net. <http://www.rgaa.net/>. Date of access 3/07/2016.
- LEWIS, J. R. (1995). Ibm computer usability satisfaction questionnaires : psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7:57–78.
- MALACARA, D. (2011). *Color vision and colorimetry theory and applications second edition*. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), Washington, USA.
- MCINTYRE, D. (2002). *Colour Blindness Causes and Effects*. Dalton Publishing, Chester, Royaume-Uni.
- NIELSEN, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- NIELSEN, J. et MOLICH, R. (1994). Heuristic evaluation. *Usability Inspection Methods*.
- NOGIER, J.-F. (2008). *Ergonomie du logiciel et design web*. Dunod, 4th édition.
- NORMAN, D. A. (2013). *The design of everyday things*. Revised and expanded édition.
- RUBIN, J. (1994). *Handbook of Usability Testing : How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1st édition.
- SHNEIDERMAN, B. et PLAISANT, C. (2005). *Designing the User Interface : Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Pearson Addison Wesley, USA, 4th édition.
- STEWART, J. et COLE, B. (1989). What do colour defectives say about every day tasks ? *Optometry and Visual Science*, 66(5):288–295.
- TIDWELL, J. (2010). *Designing interfaces*. O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, MA, USA, 2nd édition.

- TOMEIO, M. L. (2012). Adding users to the website design process. *Public Services Quarterly*, 8(4):350–358.
- TULLIS, T. et ALBERT, W. (2008). *Measuring the User Experience : Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- VANDERDONCKT, J. (1994). Guide ergonomique des interfaces homme-machine. *Presses Universitaires de Namur*.
- VANDERDONCKT, J. et LIMELETTE, D. D. (2005). Etude de la validation ergonomique d’une interface homme-machine à la conception. Rapport technique, Département d’ingénierie informatique, faculté des sciences appliquées, Université catholique de Louvain.
- W3C (2016a). Accessibility - w3c. <https://www.w3.org/standards/webdesign/accessibility>. Date of access 14/03/2016.
- W3C (2016b). Web content accessibility guidelines (wcag) 2.0. <https://www.w3.org/TR/WCAG20>. Date of access 14/03/2016.
- W3C (2016c). World wide web consortium (w3c). <https://www.w3.org>. Date of access 14/03/2016.

Annexes

A Problèmes divers relatifs à la dyschromatopsie dans la vie quotidienne

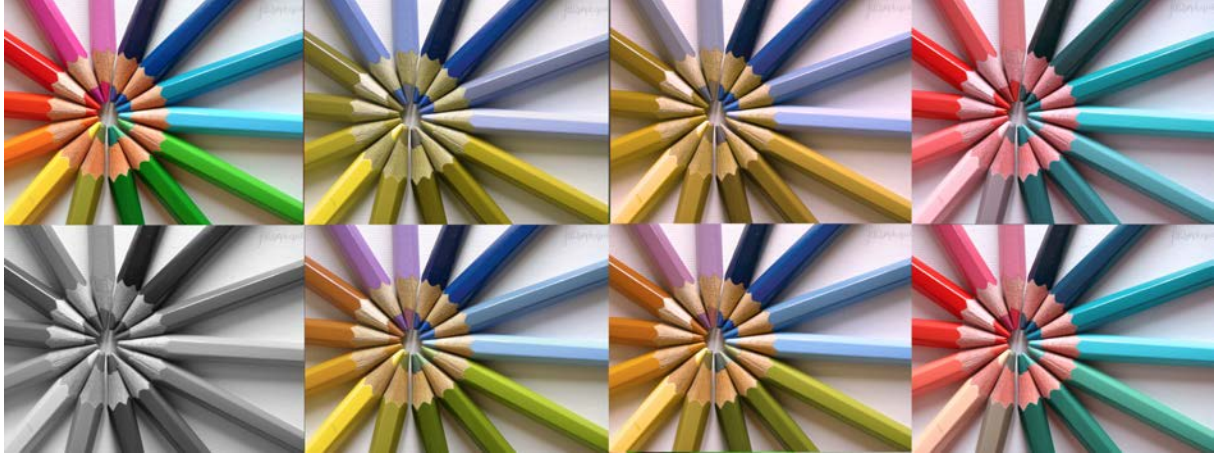


FIGURE 9.1 – Crayon de couleurs dont la vision non déficiente est présentée en haut à gauche et dont les simulations sont respectivement à la suite de gauche à droite et de haut en bas : protanopie, deuteranopie, tritanopie, achromatopsie, protanomalie, deuteranomalie et tritanomalie¹



FIGURE 9.2 – Équipe de football américain lors d'un match dont la simulation protanope est en dessous de la vision non daltonienne²

¹<http://www.coloori.com/coloriage-crayon-de-couleur/crayondecouleur>

²<https://sports.vice.com/fr/topic/gne>



FIGURE 9.3 – Feux de signalisation vu par un non daltonien à gauche et par un daltonien à droite³

Normal Vision



Colorblind Vision



FIGURE 9.4 – Différentes sortes de vêtements dont la vision daltonienne est présentée en dessous de la vision non déficiente⁴

³<http://www.123rf.com>

⁴<http://www.allaboutvision.com/conditions/colordeficiency.htm>

B Analyse des différents tests de dépistage du daltonisme

B.1 Analyse de l'impact du daltonisme sur le spectre chromatique et origine du test de classement

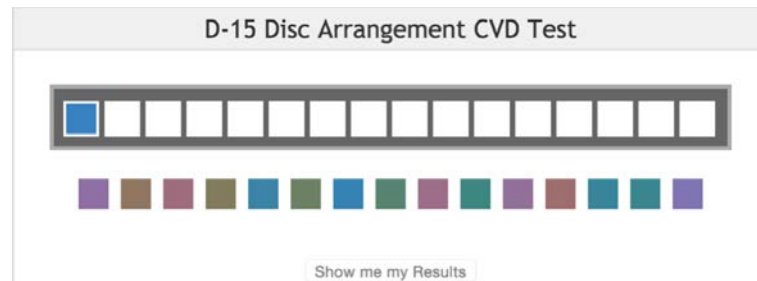


FIGURE 9.5 – Version en ligne du test de classement

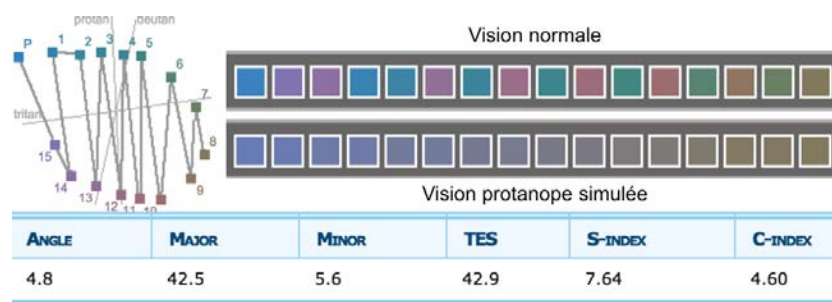
Une version en ligne du test de classement présenté à la section 2.5 existe à la page : <http://www.color-blindness.com/color-arrangement-test> (cf. figure 9.5). Celui-ci est analysé en vue de mieux comprendre l'impact du daltonisme sur les couleurs et de pouvoir différencier les différents types de déficiences de vision des couleurs.

	Angle	Major	Minor	TES	S-index	C-index
Normal	+62.0	9.2	6.7	11.4	1.38	1.00
Protanopia	+8.8	38.8	6.6	39.4	6.16	4.20
Protanomaly	+28.3	18.0	8.2	20.4	1.97	1.95
Deuteranopia	-7.4	37.9	6.3	38.4	6.19	4.10
Deuteranomaly	-5.8	25.4	9.6	27.5	2.99	2.75
Tritan Defects	-82.8	24.0	6.4	24.9	3.94	2.60

FIGURE 9.6 – Tableau d'interprétations du test de classement selon Farnworth

La figure 9.6 présente un tableau d'interprétation (disponible sur le même site web) comprenant les caractéristiques suivantes liées à la vision des couleurs utilisés par le test :

- **Angle de confusion** : caractérise le type de déficience de la vision des couleurs ;
- **TES** : score total d'erreurs ;
- **S-index** (index de dispersion) : rapport entre le rayon majeur et mineur montre le parallélisme de confusion par rapport à l'angle de confusion personnel, détectant l'aspect aléatoire du test ;
- **C-index** (index de confusion) : mesure de la sévérité du déficit de la vision des couleurs.

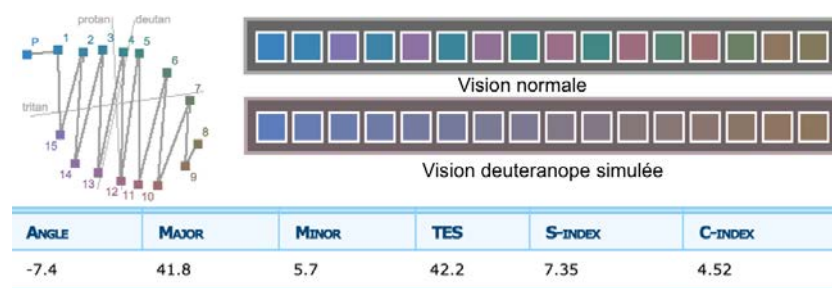


Find an explanation of the resultset and sample values to compare in the description below.

According to this test result you have a **protan color vision defect**.



FIGURE 9.7 – Diagnostic d'un test pratiqué avec une simulation de la protanopie



Find an explanation of the resultset and sample values to compare in the description below.

According to this test result you have a **deutan color vision defect**.



FIGURE 9.8 – Diagnostic d'un test pratiqué avec une simulation de la deuteranopie

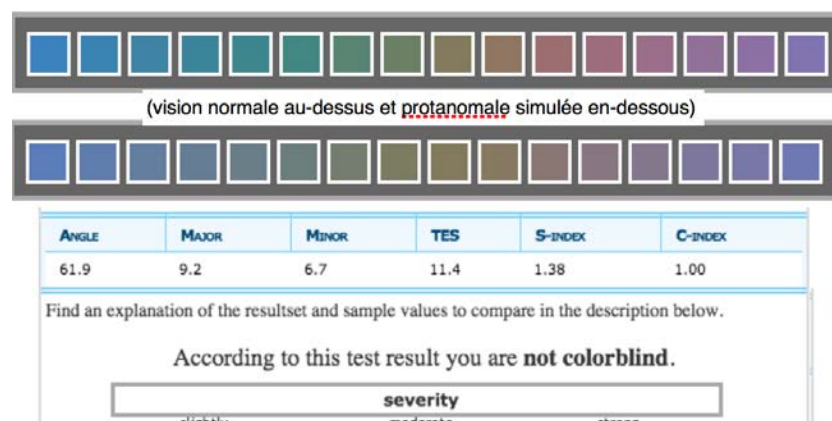


FIGURE 9.9 – Diagnostic d'un test pratiqué avec une simulation de la protanomalie

Les figures précédentes (9.7, 9.8 et 9.9) témoignent de l'efficacité du logiciel à distinguer les types de déficience et à reconnaître une personne sévèrement déficiente des couleurs. Cependant, les plus légers et même les daltoniens "moyens" devraient réussir le test.

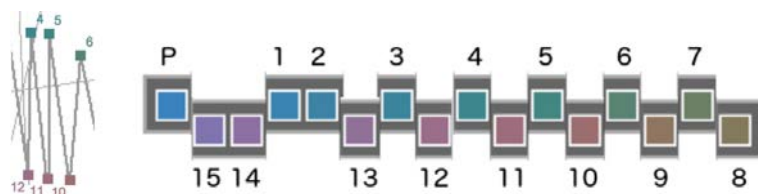


FIGURE 9.10 – Découpe du test pratiqué avec une simulation de la protanopie

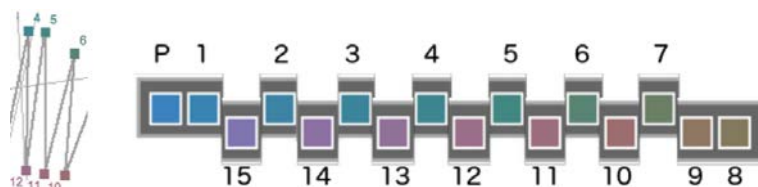


FIGURE 9.11 – Découpe du test pratiqué avec une simulation de la deuteranopie

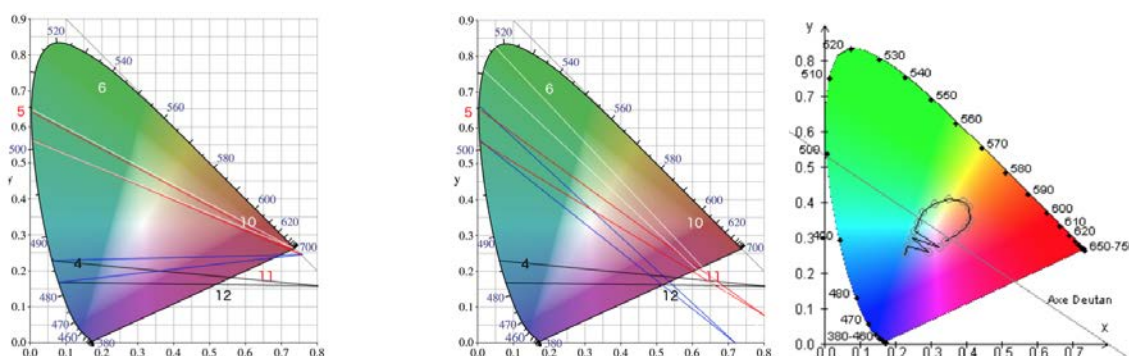


FIGURE 9.12 – Affichage des lignes de confusion en fonction de la distribution des jetons de couleurs relative aux découpes précédentes, respectivement de gauche à droite pour la protanopie et la deuteranopie, avec pour dernier graphique l'association avec l'axe principal de confusion de la deuteranopie

Si l'on considère les découpes des classements réalisés en simulation protanope et deuteranope, celles-ci sont bien différentes (cf. figures 9.10 et 9.11). La distribution des jetons de couleurs est en effet influencée par l'axe de confusion des couleurs de l'individu. Si l'on remplace chaque nuance de couleurs choisies sur un diagramme chromatique, on peut définir des lignes de confusion propres à chaque daltonien (cf. figure 9.12). Les diagrammes chromatiques de la figure 2.12 en sont les résultats, ce qui permet d'établir un test de classement basé sur ce type d'arrangement (cf. diagramme de droite sur la figure 9.12).

B.2 Le test d'Ishihara

Les *planches pseudoisochromatiques** du test d'Ishihara servent à dépister une déficience de vision des couleurs rouge-vert. Le diagnostic est supposé également recenser une distinction du type et du degré de déficience. Certaines plaques sont plus difficilement déchiffrables que d'autres et certaines devraient être lues d'une manière différente que l'on soit protanope ou deuteranope. En simulation, le logiciel Sim Daltonism ne confère pas les mêmes résultats. En pratique (avec des personnes daltoniennes), la même constatation est réalisée.

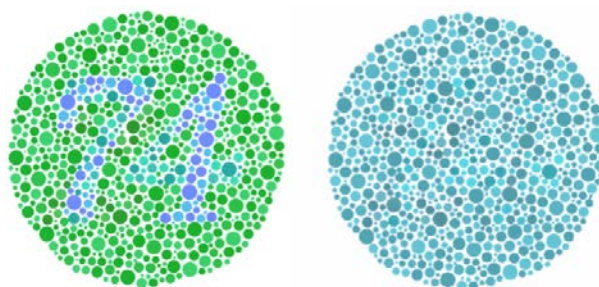


FIGURE 9.13 – Exemple de planche pseudoisochromatique qui n'est pas déchiffrable lors d'une simulation tritanope

Bien que les planches originales ne permettent pas d'identifier un tritanope, une planche du type de la figure 9.13 pourrait être construite dans ce but.

B.3 Interprétations pour le logiciel Sim Daltonism

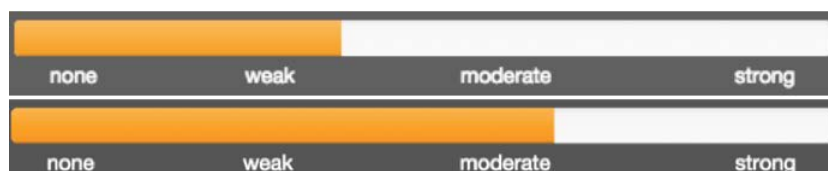


FIGURE 9.14 – Diagnostic d'un test d'ishihara pratiqué respectivement avec une simulation de la deuteranopie en dessus, et pour une personne dite moyennement deuteranope en dessous

Si l'on pratique le test d'Ishihara disponible en ligne à l'adresse : <http://www.color-blindness.com/ishihara-38-plates-cvd-test>, avec une simulation de la vision deuteranope, on obtient un résultat conforme au diagnostic en dessus de la figure 9.14. Pourtant, une personne dite modérément daltonienne grâce au test de classement fournit les résultats visibles en dessous du résultat précédent. En outre, si l'on simule la vision deuteranomale, le diagnostic fourni sur le site est celui d'un non daltonien.

On pourrait en conclure que : soit le test présenté est trop facile et les sujets en pratique sont atteints d'un daltonisme plus sévère que ce que suppose le test de classement, soit que Sim Daltonism ne fournit pas une simulation totalement fiable à la réalité. En réalité, il est plus probable que les deux problèmes soient combinés. De plus, les différents autres biais aux diagnostics ne sont pas expliqués en détail par souci de simplification.

C Interfaces problématiques pour les daltoniens (expériences 1 et 4)

Les figures qui suivent correspondent à un ensemble de problèmes présentés, dans l'ordre établi, à des utilisateurs daltoniens lors d'expérimentations. Il y est affiché une partie visible par un individu non daltonien et une autre partie dont les couleurs sont simulées, à l'aide du logiciel Sim Daltonism (cf. figure 5.34), représentant une vision daltonienne protanope. Les questions principales posées aux participants sont également données.

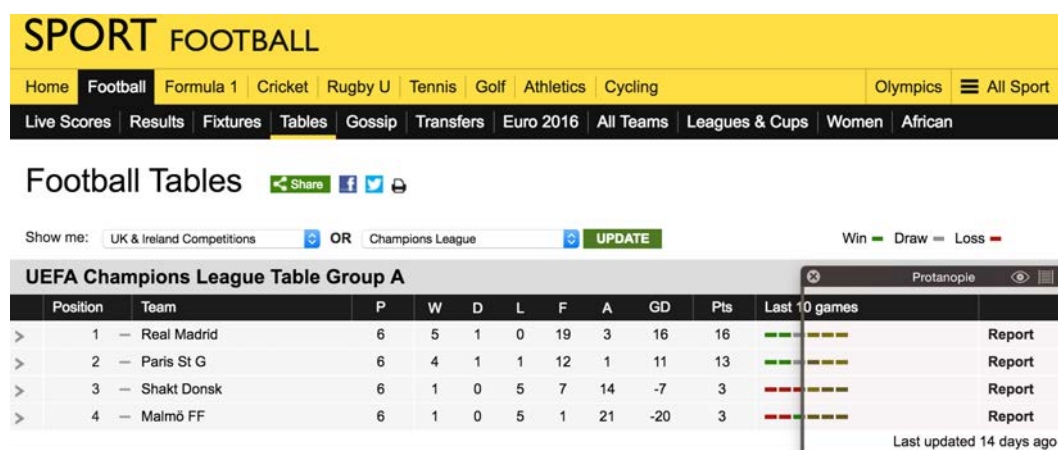


FIGURE 9.15 – Différence de visions pour observer les victoires/défaites des 10 derniers matchs⁵

- 1) Sur l'interface 9.15 ci-dessus, la question est la suivante : combien de matchs a gagné / perdu (ou match nul) l'équipe x sur les 10 derniers matchs ?

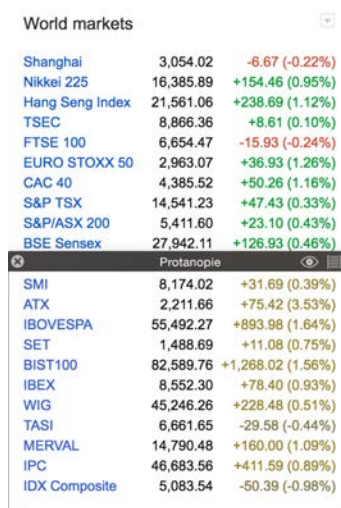


FIGURE 9.16 – Liste de valeurs positives et négatives dans le marché financier⁶

- 2) Combien y a-t-il de valeurs négatives sur la figure 9.16 ?

⁵<http://www.bbc.com/sport/football/tables>

⁶<https://www.google.com/finance?ei=LVx9V9mCO5C4U7b6q5AD>



FIGURE 9.17 – Liens visités et non visités sur google⁷

- 3) Sur la figure 9.17, y a-t-il des liens déjà visités ? (combien/lesquels ?)

Informations personnelles

Prénom *	prenom
Nom de famille *	nom
E-mail *	monnomhotmail.com
Numéro de téléphone *	par exemple: 0485457869
Numéro de client	par exemple: 987546321
Votre demande *	Ma demande

FIGURE 9.18 – Formulaire de contact sur orange.be⁸

- 4) Lors du remplissage du formulaire présenté à la figure 9.18, y a-t-il des erreurs à corriger ? Quelles sont-elles ?

⁷<https://www.google.be>

⁸<https://www.orange.be/fr/contactez-nous/en-ligne>

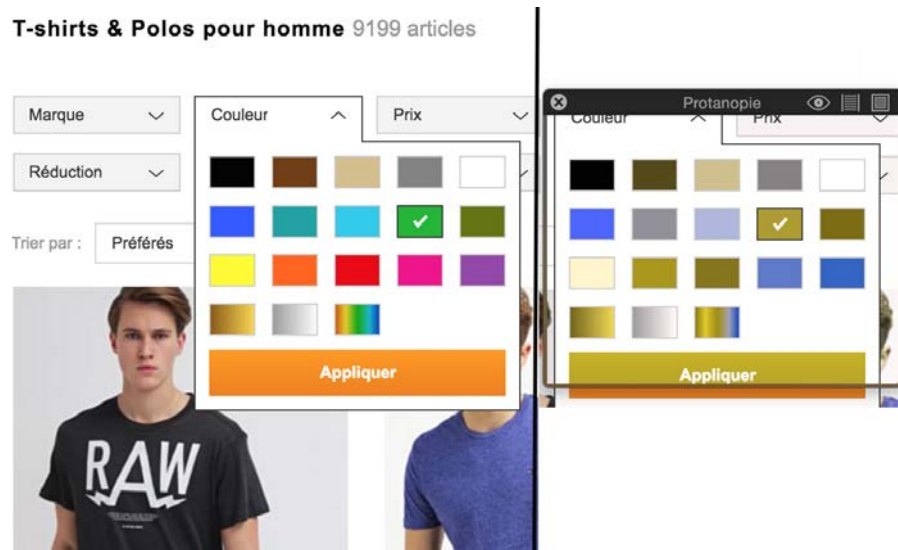


FIGURE 9.19 – Choix de couleurs pour des vêtements⁹

- 5) Sur l'interface 9.19, choisissez la couleur vert foncé. Quelles sont les autres couleurs ?

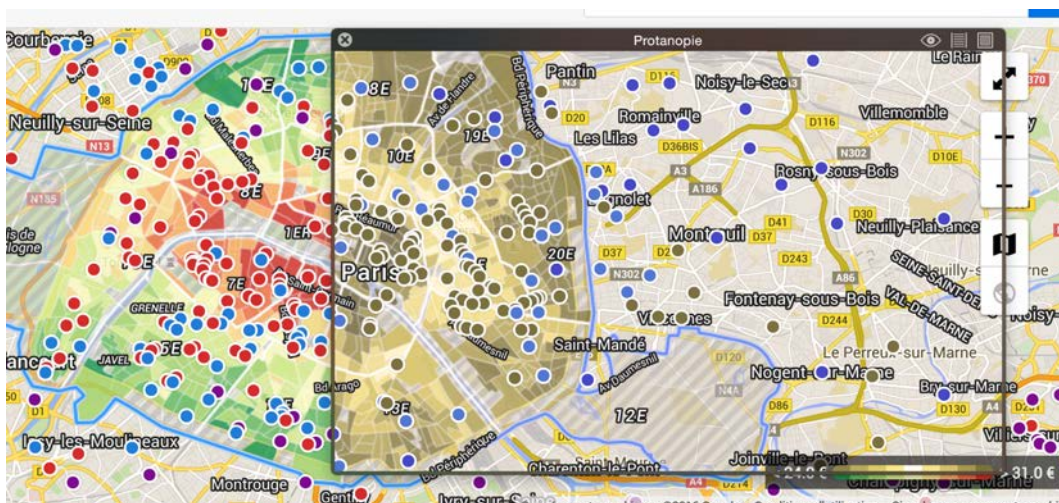


FIGURE 9.20 – Carte du prix de l'immobilier à Paris¹⁰

- 6) Sur la figure 9.20, quelles sont les zones pour lesquelles le prix est le plus élevé ?

⁹<https://fr.zalando.be/t-shirts-polos-homme/>

¹⁰<http://www.meilleursagents.com/prix-immobilier/paris-75000/#estimates>



FIGURE 9.21 – Pommier dont les fruits sont difficilement perçus par un daltonien¹¹

- 7) Y a-t-il des pommes sur l'image 9.21 ? Où sont-elles ? (Lors de la correction,) la vision des couleurs est-elle agréable / satisfaisante ?



FIGURE 9.22 – Graphique de mesure de l'ozone dans différentes stations de France¹²

- 8) Indiquez quelle est la partie du graphique, présenté à la figure 9.22, qui représente la station :
- Dijon Balzac
 - Champforgueil
 - Chalon-sur-Saône Sainte Marie
 - Dijon Tarnier
 - MERA
 - Dijon Pasteur

¹¹http://2.bp.blogspot.com/_5O1FjO4ALWw/TKI0lBnFTZI/AAAAAAAAABpY/d_zDEfnLV14/s1600/R_pommier7.jpg

¹²<http://www.atmosfair-bourgogne.org/fr/Polluants-104.html>



FIGURE 9.23 – Image d’une plage en vision normale et protanope¹³

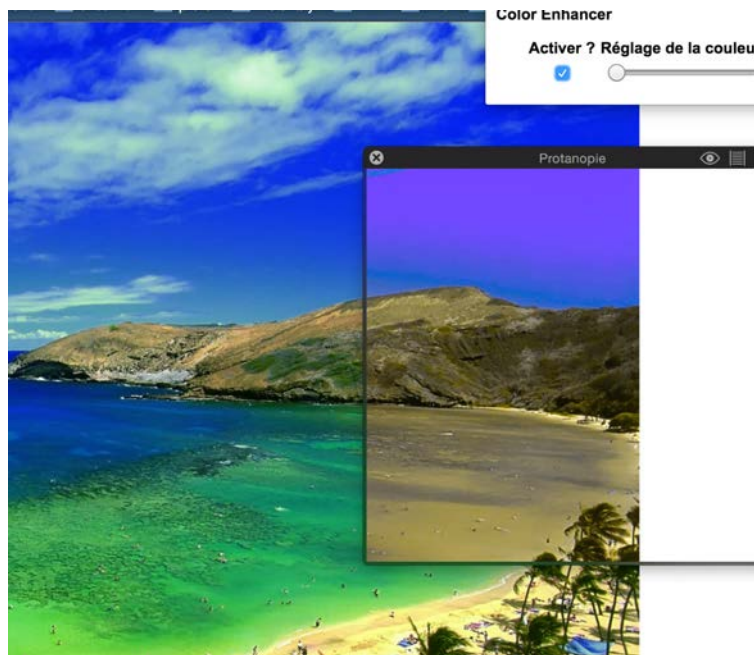


FIGURE 9.24 – Illustration d’une plage en vision normale et protanope dont les couleurs sont altérées

- 9) La vision des couleurs de la figure 9.24 est-elle au moins aussi agréable que la figure 9.23 ?
Est-ce satisfaisant ?

¹³<http://www.lagoon-sensation.de/images/wallpapers/Wallpaper-1600x1200-Lagoon-X2.jpg>

D Interfaces conçues pour les expérimentations (expériences 2 et 3)

Contexte

Le but de cette annexe est de présenter les contraintes que les concepteurs ont dû respecter afin de créer un “site” grâce à une méthodologie de conception d’interfaces classique ou adaptée à la dyschromatopsie. Les interfaces conçues à tester auprès d’utilisateurs daltoniens sont exposées ci-dessous. Elles constituent la construction d’un “faux mini-site” e-commerce. Le scénario concerne l’achat d’un casque audio en ligne. Chaque contenu est déterminé de manière à vérifier les difficultés de perception semblables aux problèmes des interfaces de l’annexe C.

Contraintes

Pour le premier prototype, le concepteur doit se conformer aux méthodologies de conception d’interfaces classiques sans prendre en compte l’accessibilité. Le deuxième prototype implique une prise de conscience du daltonisme dans la conception d’interfaces, grâce, principalement, aux normes ergonomiques développées à la section 5.3.2. La présentation et les données sont arbitraires et dépendent du choix du concepteur, tant qu’elles respectent les conditions suivantes.

- 1) **Page d’accueil** : arrière-plan simple composé d’une illustration d’un casque audio et un bouton pour accéder à la suite.

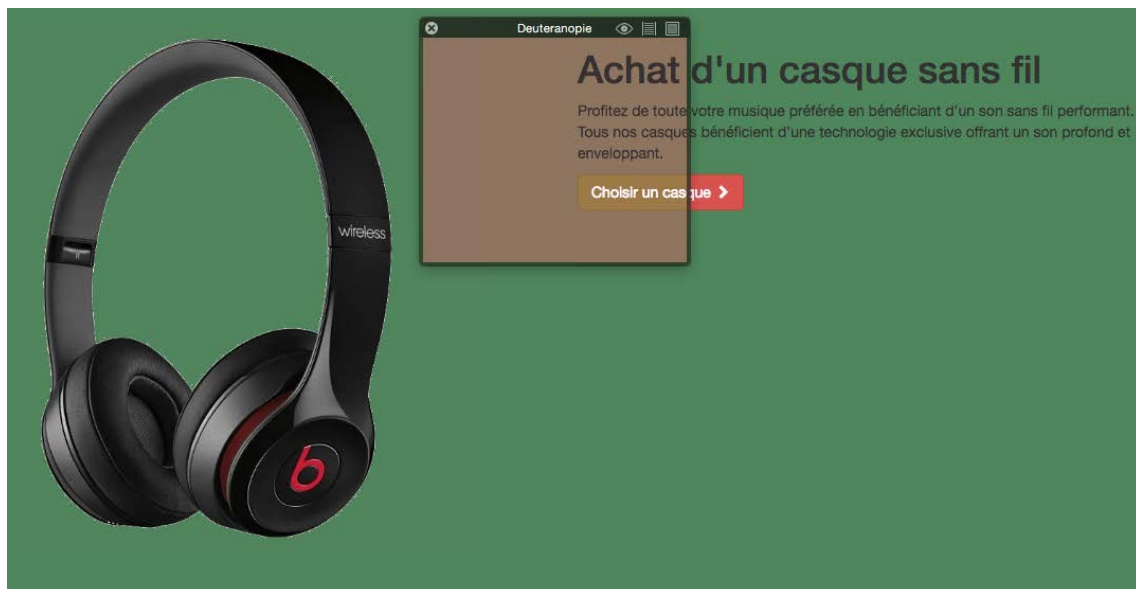


FIGURE 9.25 – Page d’accueil de l’interface implémentée avec une méthodologie de conception classique (prototype 1)



Casque sans fil

Vous rêviez d'un casque QuietComfort sans fil ? Nous l'avons fait ! En y intégrant la fonctionnalité Bluetooth®, à laquelle nous avons même ajouté notre technologie à réduction de bruit ultra performante pour un son d'une qualité encore plus exceptionnelle. Écoutez votre musique, sans fil.

Choisir un casque

FIGURE 9.26 – Page d'accueil de l'interface implémentée avec une méthodologie de conception adaptée (prototype 2)

Les figures 9.25 et 9.26 affichent les pages d'accueil requises des 2 prototypes.

Les questions sous-jacentes sont les suivantes :

- (a) Est-il possible de percevoir et agir sur le bouton rapidement ?
- (b) Le thème est-il agréable ?

2) **2^e page** : Interface de choix du casque audio composée de :

- titre de la page ;
- thème, fond d'écran ;
- plusieurs “colonnes” (ou autre présentation) correspondant à des casques différents (ou plus) ;
- nom du casque, prix ;
- illustration des casques (au choix...) ;
- option permettant de choisir la couleur du casque.
- graphique et légende pour chacun, affichant le type d'utilisation du casque : VoIP, jeux, bureautique, sport, etc. La cohérence des données n'est pas importante. Les mêmes couleurs doivent être utilisées pour les 3 graphiques ;
- indications rapides pour des critères, par exemple, d'isolation, de qualité sonore, de confort, de poids, de solidité, d'autonomie, etc. (de la forme comme représenté à la figure 9.15) ;
- quelques avantages écrits en vert et inconvénients écrits en rouge (Chaque casque ne doit pas en contenir le même nombre) ;
- bouton ou autre moyen pour passer à l'étape suivante.

Nos articles

Casque audio Bose



Prix: 219€

Isolation:

Qualité sonore:

Confort:

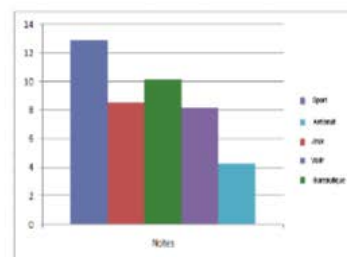
Autonomie:

Choix de la couleur:



Points forts & points faibles :

- Souplesse et capacité d'ajustement.
- Bonne autonomie sans-fil.
- Latence faible de la communication en sans-fil.
- Son agressif à haut volume.
- Oreillettes qui tiennent chaud.
- Configuration plus complexe qu'un simple USB sur ordinateur.



[Acheter](#)

Deuteranopie

Casque audio Bluetooth



Prix: 104€

Isolation:

Qualité sonore:

Confort:

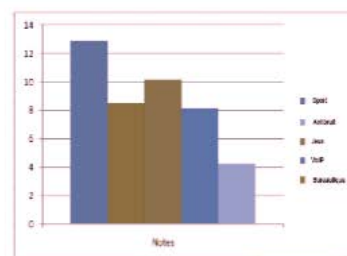
Autonomie:

Choix de la couleur:



Points forts & points faibles :

- Discret et sobre.
- Précis.
- Configuration et utilisation simple, explications claires de la notice.
- Look un peu trop brut.
- Manque de réactivité des membranes, son globalement mou et imprécis.



[Acheter](#)

FIGURE 9.27 – 2^e page du prototype 1

Le son Bose dans un sans fil.

Profitez de toute votre musique préférée en bénéficiant d'un son Bose sans fil performant. Le casque sans fil Bose SoundLink bénéficie d'une technologie exclusive offrant un son profond et enveloppant.



Casque confort Bose sans fil

378,95€

Couleurs disponibles



Type d'utilisation



Performance



Points forts & points faibles

- ✓ Clarté et définition des voix.
- ✓ Scène sonore aérée et bien lisible.
- ✓ Confort de premier ordre.
- ✓ Accessoires complets.
- ✗ Latence Bluetooth élevée.
- ✗ Batterie inamovible.
- ✗ Taille des câbles fournis.

Acheter maintenant



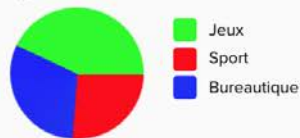
Casque circum-aural sans fil SoundLink

239€

Couleurs disponibles



Type d'utilisation



Performance



Points forts & points faibles

- ✓ Construction solide, légère et souple.
- ✓ Confort de longue durée.
- ✓ Ultra-plat une fois replié.
- ✗ Taille des câbles fournis.
- ✗ Latence Bluetooth élevée.
- ✗ Basses un peu trop en avant.
- ✗ Accessoires incomplets.

Acheter maintenant



Casque sans fil SoundLink

120,39€

Couleurs disponibles



orange

Type d'utilisation



Performance



Points forts & points faibles

- ✓ Scène sonore aérée et bien lisible.
- ✓ Appairage multipoint / Puce NFC.
- ✗ Basses un peu trop en avant.
- ✗ Matière peu souple.
- ✗ Batterie inamovible.
- ✗ Mauvaise isolation du bruit.
- ✗ Latence Bluetooth élevée.

Acheter maintenant

FIGURE 9.28 – 2^e page du prototype 2

Les figures 9.27 et 9.28 montrent comment ont été conçues les 2 interfaces correspondantes aux contraintes de la page 2. On peut y apercevoir la simulation de la vision deuteranope des couleurs sur les interfaces. On peut percevoir sur la deuxième interface que certaines informations sont ajoutées lors du survol d'un artefact avec la souris. Ces informations sont affichées dans la partie simulée.

Questions :

- (a) Le thème est-il agréable ?
- (b) Quel est le casque dont l'utilisation pour les jeux est la mieux cotée (graphique) ?
- (c) Quel est le casque qui offre la meilleure isolation sonore ?
- (d) Quel est son prix ?
- (e) Est-il aisé de changer la couleur du casque ?
- (f) Combien de points forts et de points faibles possède-t-il ?
- (g) Est-il possible de poursuivre rapidement (changer de page) ?

3) 3^e page : Choix du magasin pour la livraison.

- Titre de la page.
- Une carte de la Belgique avec les communes, ou régions, colorées en vert pour celles desservies (pour lesquelles il existe un magasin dont l'objet est en stock) et rouge non desservies.
- Bouton ou autre moyen pour passer à l'étape suivante.

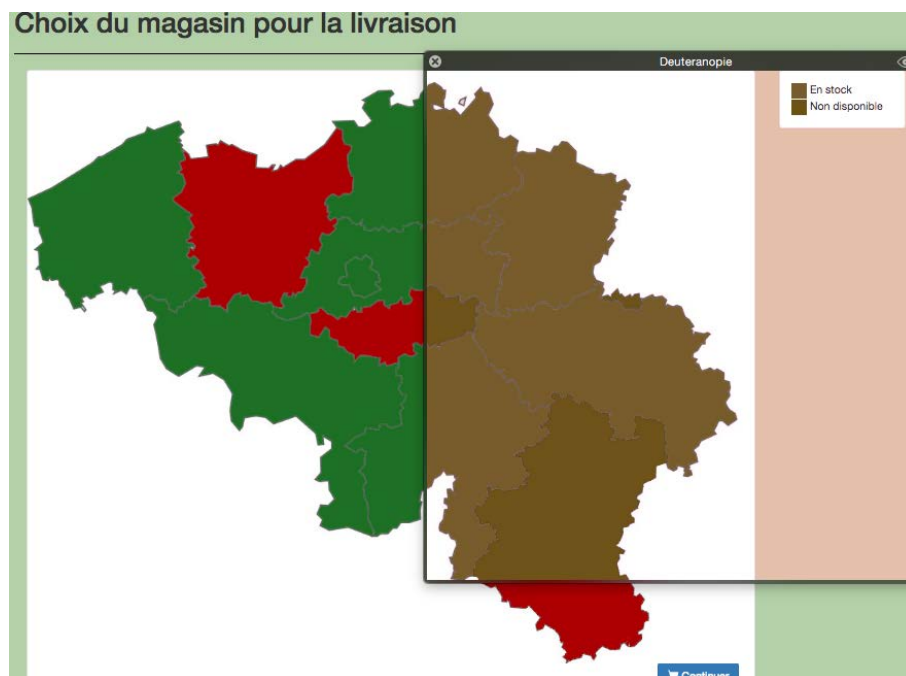
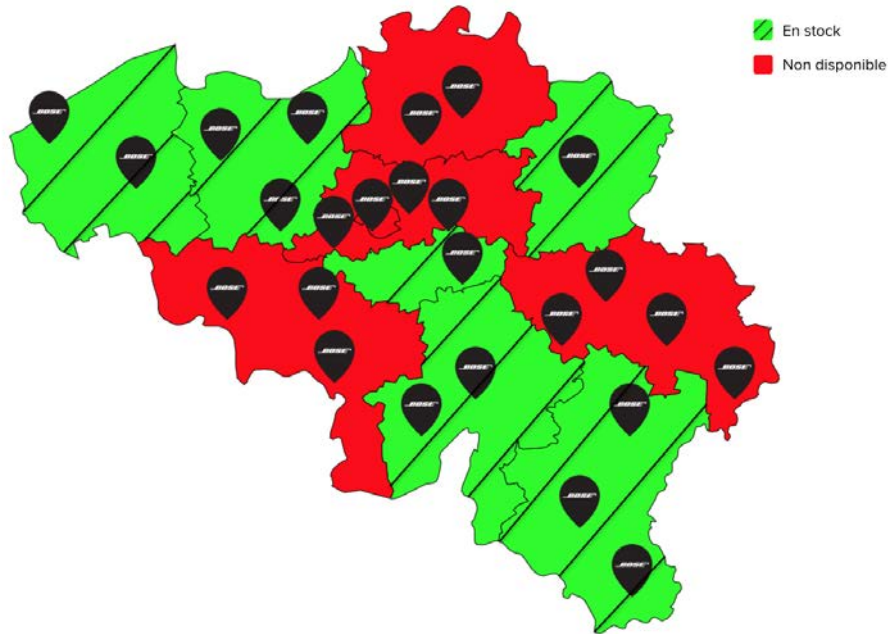


FIGURE 9.29 – 3^e page du prototype 1

Où acheter votre casque?

Bose compte à présent 26 points de vente dans chaque province belge. Vous avez choisi le **casque Bose**, il est actuellement disponible dans les provinces suivantes:



Votre casque n'est pas disponible dans votre province?
Précommandez-le en ligne !

FIGURE 9.30 – 3^e page du prototype 2

Les interfaces 9.29 et 9.30 sont conformes aux contraintes correspondantes.

Questions :

- (a) La province du participant contient-elle des magasins qui possèdent le casque en stock?
- (b) Est-il possible de poursuivre rapidement (changer de page) ?

4) 4^e page : Formulaire de commande.

Il est composé d'un titre, et plusieurs champs (par exemple : nom, prénom, domicile, âge, email, date de livraison, etc.). Dans ce cas-ci, il est important d'afficher les erreurs de validation potentielles. La restriction est de glisser volontairement une erreur. Par exemple, il serait obligatoire de posséder un âge < 18 ans (les testeurs sont majeurs).

Deurenanopie

Formulaire d'achat

Veuillez compléter les champs vides.

Nom
monnom

Prénom
prenom

Email
email@hotmail.com

Rue
marue

Ville
maville

Code postal
6220

Âge

Date de livraison
03/08/2016

Envoyer

FIGURE 9.31 – 4^e page du prototype 1

Précommande en ligne

Précommander votre casque en remplissant le formulaire ci-dessous.

Il sera disponible dans votre magasin dans les 48h. Vous recevrez un mail de confirmation dès que celui-ci sera disponible.

Nom
 ✓

Prénom
 ✓

Email
 ✗ L'email doit contenir moins de 8 caractères.

Âge
 ✗ Vous devez être majeur.

Rue
 ✓

Ville
 ✓

Code postal
 ✓

Envoyer ma demande

FIGURE 9.32 – 4^e page du prototype 2

Les figures 9.31 et 9.32 comprennent les interfaces conformes aux contraintes ci-dessus.

Questions :

- (a) Le formulaire est-il rempli facilement/rapidement ?
- (b) Le sujet remarque-t-il facilement la/les erreur(s) à la validation ? Peut-il la/les corriger ?

5) **Dernière page** : Liens vers des partenaires en bas de page, comprenant certains déjà visités.



FIGURE 9.33 – Dernière page du prototype 1

Merci !

Nous vous remercions pour votre précommande en ligne.

N'hésitez pas à profiter d'offres exclusives sur les sites de nos partenaires !



FIGURE 9.34 – Dernière page du prototype 2

Les figures 9.33 et 9.34 constituent les dernières pages des “mini-sites” respectifs.

Questions :

(a) Quel(s) lien(s) a(ont) déjà été visité(s) ?

E Résultats des tests utilisateurs

L'objectif de cette annexe est de présenter les données brutes résultant des interviews, des observations et des tests avec les utilisateurs daltoniens. Le protocole de test est détaillé au chapitre 6. La première partie comprend une pré-interview, identifiant les différentes caractéristiques des utilisateurs, et des explications relatives au diagnostic et au logiciel Color Enhancer. La deuxième partie concerne les résultats aux différents tests, ordonnés par interface, comme à l'annexe C.

Pour chacun des tableaux de l'annexe E, les différents sujets sont numérotés par ordre de grandeur en fonction de leur degré de déficience de vision des couleurs diagnostiqué. Les données affichées sont de ce fait plus claires.

Afin de faciliter également la visualisation, les données apparaissent sous forme de tableau et sont regroupées par participant et par problématique proche. De cette manière, bien que les sites problématiques de l'annexe C soient présentés en premier et leur correction en dernier lors des tests (comme cela est expliqué à la section 6.4.2), les réponses aux questions correspondantes à un même site sont rassemblées. Les contraintes d'interfaces des autres expériences posant les mêmes problèmes sont également regroupées avec ces sites. Cette disposition permet de faciliter l'analyse des données.

Les tableaux comprennent donc chacun un problème particulier et sont présentés dans l'ordre d'apparition de l'annexe C. Pour chacun de ces problèmes, les réponses des utilisateurs, sans et avec l'aide de la correction des couleurs du logiciel Color Enhancer, sont affichées respectivement sur la première et deuxième ligne de chaque tableau (expérience 1 et 4). Ensuite, le prototype 1 correspond à l'interface créée sur base d'une méthodologie de conception classique (expérience 2) (cf. chapitre 4). Finalement, le prototype 2 représente le site conçu avec une méthodologie de conception adaptée pour les daltoniens (expérience 3) (cf. chapitre 5).

Les données sont basées principalement sur les critères suivants afin d'attribuer une note à un test :

- la réussite ou l'échec à un test ;
- la satisfaction ;
- les hésitations ;
- l'incomplétude d'une réponse ou d'une interaction ;
- la facilité de réponse ou d'interaction ;
- les différences de comportement ;
- le temps de réalisation d'une tâche.

Les résultats (incorrect, moyen, correct) et les temps de réponse (si cela est utile et objectif) de l'ensemble des participants sont alors inscrits dans les cellules intérieures du tableau, sous une forme simplifiée. À cet effet, des symboles d'abréviations sont utilisés. Ils sont définis dans le tableau suivant.

Tableau 9.1 – Définition des symboles utilisés dans les tableaux de résultats

Symbole	Définition
✓	Le symbole signifie que la réponse donnée par le sujet est exact, ou que celui-ci est satisfait.
!	L'abréviation exprime un temps de réponse ou d'interaction jugé trop long, ou un résultat insatisfaisant, pourvu d'hésitations ou incomplet. La réussite est donc moyenne, et au plus le nombre de "!" est élevé, au plus celle-ci est compromise.
✗	Le symbole dénote une valeur incorrecte ou une insatisfaction.
/	Le résultat n'est pas disponible.
x "	x secondes

De façon à alléger les tableaux, les remarques plus longues sont écrites à la suite de ceux-ci. En somme, les observations notées et enregistrées, bien que complètes, ne sont pas intégralement transcrites afin d'améliorer le confort de lecture et la comparaison des valeurs.

E.1 Interviews

Sujet 0

Le sujet n°0, dont les caractéristiques sont encodées dans le tableau suivant, correspond à une personne qui ne serait pas daltonienne. Cette étude permet de comparer les résultats avec un utilisateur non daltonien dans les mêmes conditions d'utilisation.

Tableau 9.2 – Caractéristiques du sujet n°0

Âge	60 ans.
Genre	Homme.
Activité professionnelle	Gestionnaire de projet dans une entreprise d'échafaudages.
Compétences informatiques	Estimé à 5/10.
Type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3)	Non daltonien.
Principales difficultés (informatiques ou non)	/
Autres	Hypermétrope.

Diagnostic

Le sujet arrange les couleurs du test de classement assez rapidement (**1 minute 20 secondes**), dans un ordre qui implique qu'il n'est **pas daltonien**. Ce résultat est évident, mais est confirmé par la lecture des plaques d'Ishihara.

Color Enhancer

Le participant choisit la dernière ligne d'étoiles lors de la configuration du logiciel Color Enhancer (cf. section 6.3.2) et le règle à environ 1/6 de sa valeur maximale.

Sujet 1

Tableau 9.3 – Caractéristiques du sujet n°1

Âge	23 ans.
Genre	Femme.
Activité professionnelle	Étudiante en biologie médicale.
Compétences informatiques	Moyenne (estimé à 7/10).
Type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3)	Faible, le degré exact et le type de daltonisme n'est pas connu.
Principales difficultés (informatiques ou non)	<ul style="list-style-type: none">• Peu de difficultés sont véritablement constatées.• La plupart des “erreurs” sont plutôt remarquées par les proches.• Lorsqu'elle regarde au microscope, il y a parfois une distinction difficile des couleurs brun-rouge.
Autres	Myope.

Diagnostic

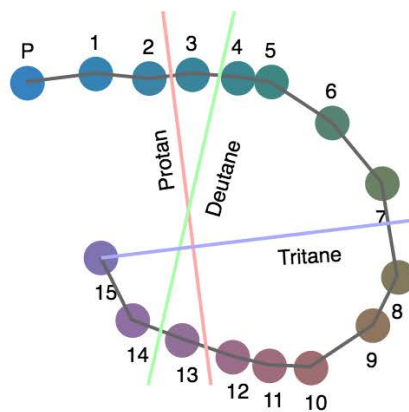
Les résultats du test de classement sont ceux de la figure 9.35. Le sujet ne serait pas daltonien d'après ce résultat, effectué en **2 minutes 43 secondes**, bien qu'il ait hésité longtemps pour certaines parties de l'arrangement, principalement à la fin du test (bâtonnet mauve). Les tests d'Ishihara ont cependant pu démontrer le contraire (cf. figure 9.36). Le sujet serait tout de même **légèrement daltonien**. Celui-ci insiste tout de même sur la longueur et la fatigue que le test implique.

Color Enhancer

Le participant choisit la deuxième ligne d'étoiles lors de l'utilisation du logiciel Color Enhancer. L'intensité du filtre est alors placé au 3/4 du maximum.

Résultat du test de classement

D'après ce test, vous n'êtes pas daltonien.



Angle	Major	Minor	TES	S-index	C-index
61.9	9.2	6.7	11.4	1.38	1.00

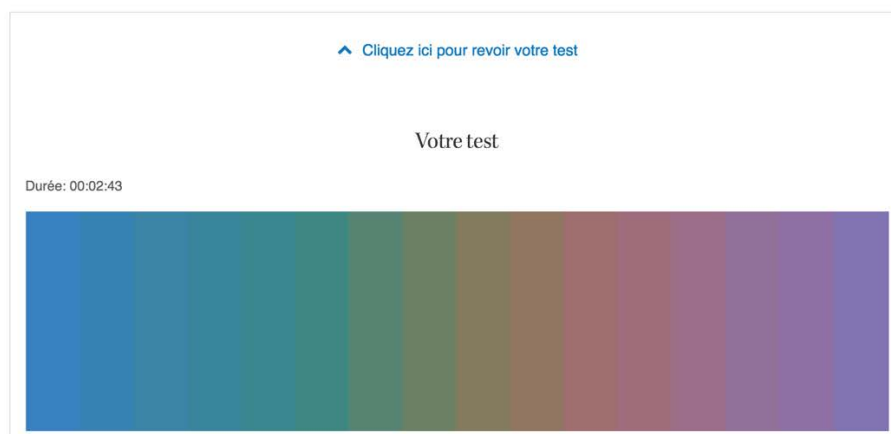


FIGURE 9.35 – Diagnostic du test de classement du sujet n°1

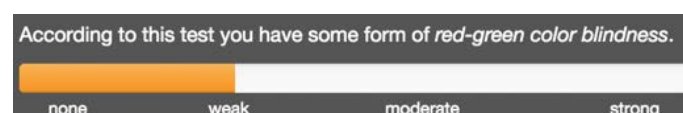


FIGURE 9.36 – Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°1

Sujet 2

Tableau 9.4 – Caractéristiques du sujet n°2

Âge	79 ans.
Genre	Homme.
Activité professionnelle	Retraité, anciennement cadre supérieur dans l'entreprise Thalès.
Compétences informatiques	estimé à 4/10.
Type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3)	Déclaré faiblement daltonien par des tests à l'armée.
Principales difficultés (informatiques ou non)	Inconnues
Autres	Myope.

D'après ce test, vous n'êtes pas daltonien.

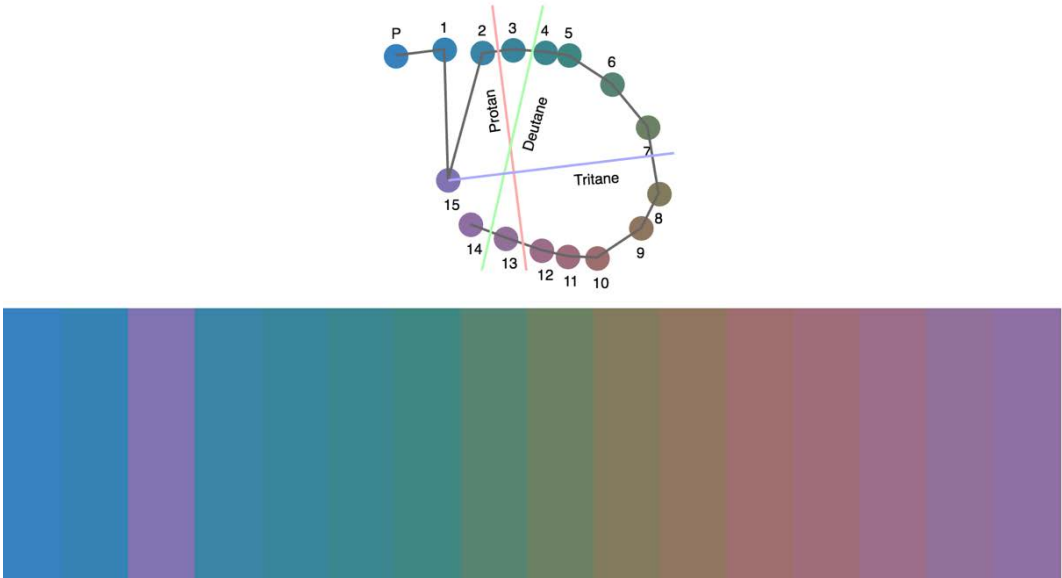


FIGURE 9.37 – Diagnostic du test de classement du sujet n°2



FIGURE 9.38 – Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°2

Diagnostic

Le diagnostic réalisé est celui de la figure 9.37. Le sujet hésite à de nombreux instants afin d'arranger l'ensemble de ces couleurs. Il termine un premier classement mais n'en est pas totalement satisfait, ce qui lui permet de recommencer et de trouver un classement plus proche de ce qu'une personne non daltonienne ferait. Cependant, ce test a duré **9 minutes 26 secondes**, ce qui est très long par rapport aux autres participants. Le sujet est, de cette façon, déclaré protanope à seulement 7 %, donc très léger. Mais il est probable qu'avec un temps plus limité, le test soit plus fiable et engendre un résultat plus "sévère". Le daltonien a d'ailleurs pratiqué quelques tests avec des plaques d'Ishihara, qui ont pu l'identifier comme **légèrement daltonien** (cf. figure 9.38).

Color Enhancer

Le sujet n°2 choisit la ligne 2 qui semble être la ligne pour laquelle il perçoit le moins d'étoiles. L'intensité est alors réglée à un peu plus que la moitié.

Sujet 3

Tableau 9.5 – Caractéristiques du sujet n°3

Âge	49 ans.
Genre	Homme.
Activité professionnelle	Responsable technique ; électricien ; possède un ordinateur portable en permanence.
Compétences informatiques	7/10.
Type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3)	Inconnus, il sait que ce sont les nuances vert-brun-rouge qui sont problématiques.
Principales difficultés (informatiques ou non)	<ul style="list-style-type: none">• Principalement des choix de couleurs (vêtements etc.).• Ils demandent conseil lorsqu'il n'est pas certain d'une couleur.• Problèmes avec les cables électriques sur le lieu de travail.
Autres	Myope.

D'après ce test, vous avez un daltonisme de type **protanope** à **7%**.

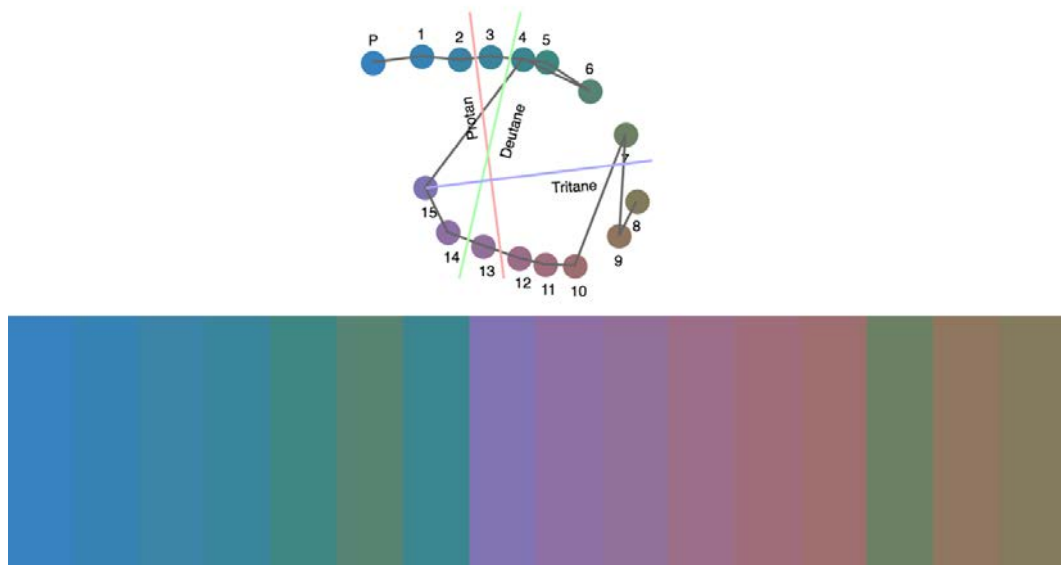


FIGURE 9.39 – Diagnostic du test de classement du sujet n°3



FIGURE 9.40 – Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°3

According to this test result you have a **deutan color vision defect**.



FIGURE 9.41 – Diagnostic du test de classement provenant de color-blindness.com du sujet n°3

Diagnostic

Le diagnostic effectué est celui de la figure 9.39. Le participant a corrigé plusieurs fois son arrangement lors du test afin d'obtenir le meilleur résultat en **2 minutes 26 secondes**. Le résultat est négatif : l'utilisateur ne serait pas daltonien. Pourtant, un test ishihara et un autre test de classement (cf. figures 9.40 et 9.41) infirment ce résultat. La personne serait tout de même daltonienne à un niveau **modéré**.

Color Enhancer

La configuration est à son maximum d'intensité au niveau de la deuxième ligne d'étoiles.

Sujet 4

Tableau 9.6 – Caractéristiques du sujet n°4

Âge	27 ans.
Genre	Homme.
Activité professionnelle	Magasinier.
Compétences informatiques	7.5/10.
Type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3)	Inconnu, seulement diagnostiqué “daltonien”, ni son degré ni son type de dyschromatopsie n’a été réellement établi.
Principales difficultés (informatiques ou non)	En informatique, il n’en a pas beaucoup. Cependant, dans la vie quotidienne, cela est largement problématique, surtout pour trouver un métier adapté (armée, école d’art, etc.).
Autres	Myope.

D'après ce test, vous avez un daltonisme de type **protanope** à **37%**.

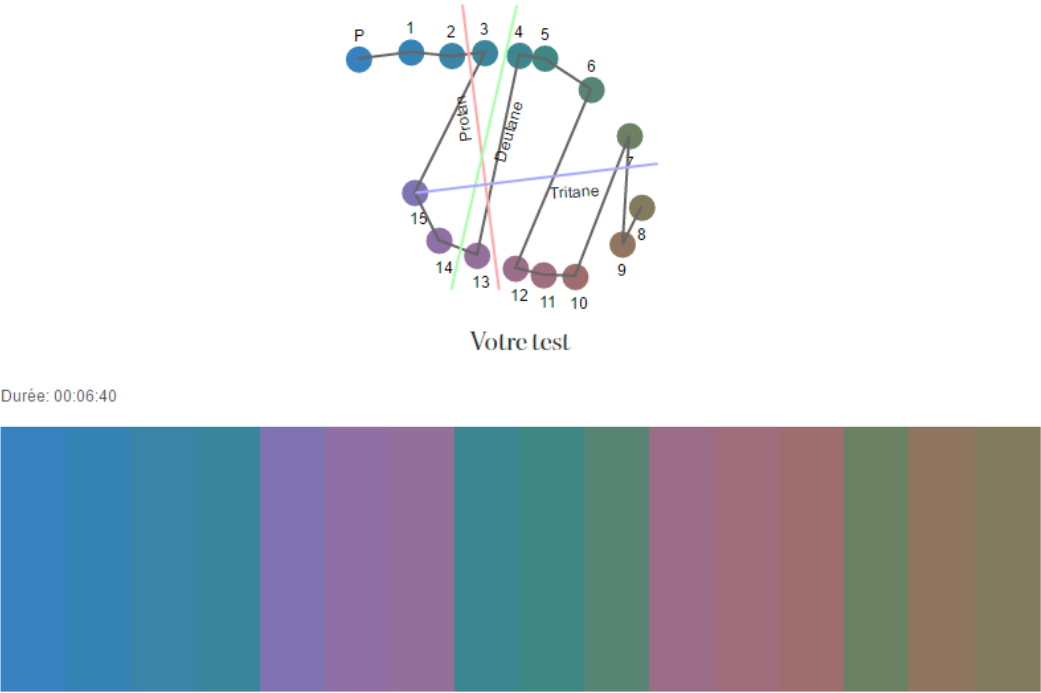


FIGURE 9.42 – Diagnostic du test de classement du sujet n°4



FIGURE 9.43 – Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°4

Diagnostic

La figure 9.42 expose le diagnostic du test de classement effectué par le sujet n°4 et la durée de l'exercice (**6 minutes 40 secondes**). Particulièrement, une couleur lui semble fortement problématique par rapport aux autres et il ne savait pas où la placer. Celui-ci serait protanope avec un degré élevé à 37 %. Grâce aux tests d'Ishihara, le sujet a pu être déclaré daltonien avec **un niveau entre modéré et fort** (cf. figure 9.43). L'utilisateur exprime particulièrement son découragement par rapport au test de classement présenté, qui est assez long à effectuer : "Pour les gars comme nous, c'est une torture ce test". De plus, il évoque ses souvenirs d'enfance durant lesquels il pratiquait ce test et les tests d'Ishihara pour diagnostiquer sa déficience.

Color Enhancer

L'utilisateur choisit le réglage n°2 pour la correction des couleurs et le configure à un peu plus de la moitié. Le deuxième paramètre de filtre est, tout au long du test, réglé vers la gauche. Le logiciel lui semble particulièrement utile. Il fait remarquer son étonnement vis-à-vis de l'efficacité du logiciel et des couleurs qu'il peut distinguer.

Sujet 5

Tableau 9.7 – Caractéristiques du sujet n°5

Âge	46 ans.
Genre	Homme.
Activité professionnelle	Administratif.
Compétences informatiques	7/10.
Type et degré de dyschromatopsie connus (cf. section 2.3)	Le degré est inconnu. Il fait remarquer que la connaissance degré de daltonisme n'a pas d'importance selon lui. Il sait seulement qu'il confond le rouge et le vert.
Principales difficultés (informatiques ou non)	<p>Pas beaucoup de situations connues en informatique à priori, mais il déclare probablement ne pas s'en rendre compte.</p> <ul style="list-style-type: none">• Il est incapable de choisir une couleur sur word sans avoir lu le texte associé.• Il déclare ne pas voir souvent la différence de couleurs lors du survol d'un lien.• Dans la vie quotidienne, la distinction des feux de signalisation la nuit est difficile.• Selon lui, le tronc d'un arbre est vert.
Autres	Écran plus lumineux que les autres participants.

D'après ce test, vous avez un daltonisme de type **protanope** à **92%**.

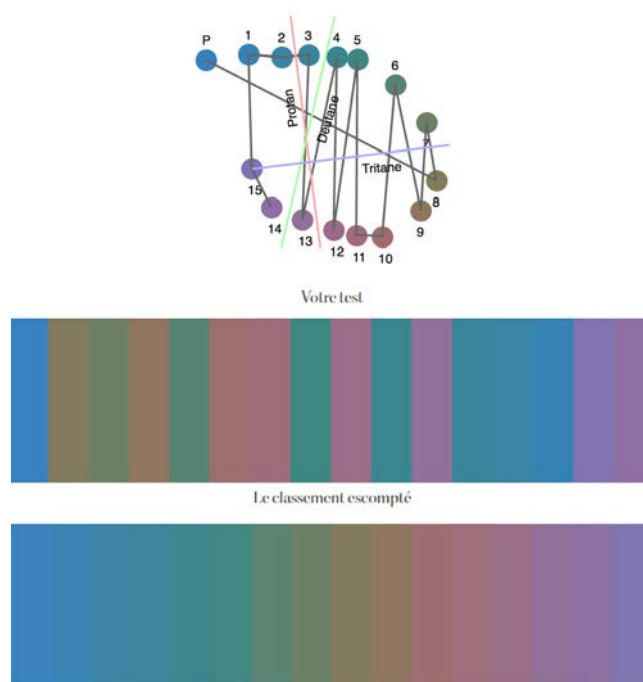


FIGURE 9.44 – Diagnostic du test de classement du sujet n°5



FIGURE 9.45 – Diagnostic du test d'Ishihara du sujet n°5

Diagnostic

La figure 9.44 affiche le résultat du test de classement effectué par le sujet n°5 et la durée de l'exercice (**2 minutes 3 secondes**). Il serait **protanope avec un degré élevé à 97 %**, ce qui correspond au degré le plus élevé parmi les premiers participants. En sachant que le test semble trop facile pour les sujets précédents, cet utilisateur serait certainement atteint de protanopie ou de deuteranopie et non de protanomalie ou de deuteranomalie (cf. section 2.3). Avec l'aide des tests d'Ishihara, le sujet est également déclaré daltonien de type rouge-vert d'un degré assez élevé (cf. figure 9.45). L'utilisateur exprime, tout comme le précédent, son découragement par rapport au test de classement qui lui semble laborieux. Il affirme également n'avoir aucun besoin qu'on lui donne son "degré" de daltonisme après le test.

Color Enhancer

Le sujet choisit la troisième ligne d'étoiles dans un premier temps. Cependant, cette configuration ne s'avère pas très efficace. Le réglage n°1 lui permet d'avoir de meilleurs résultats. La configuration est optimale à son intensité maximale, en orientant le deuxième paramètre vers la gauche.

E.2 Tests et observations

Les tableaux suivants sont le résultat des études menées auprès de chaque participant.

1) Échelle d'informations

Il s'agit d'informations affichées sous forme d'icônes de même forme dont les couleurs sont différentes pour donner des informations différentes. Si la couleur est nettement perceptible, l'information serait plus rapidement obtenue, d'après la section 5.3.2.

BBC : Sur l'interface 9.15, la question est la suivante : Combien de matchs a gagné / perdu / match nul *l'équipe x* sur les 10 derniers matchs ?

Interfaces 9.27 & 9.28 (2^e page - Question (c)) : La question est de savoir quel est le casque qui offre la meilleure isolation sonore.

Tableau 9.8 – Résultats des tests pour le cas problématique n°1

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 (site)	✓ 3"	✓ 15"	✗ 7"	✗ 20"	✗ 8"	✓ 8"
4 (Color Enhancer)	/	✓ 10"	! 19"	! 8"	✓ 11"	!! 11"
2 (prototype 1)	✓ 5"	✓ 10"	✓	✗ 24"	✗ 14"	!! 25"
3 (prototype 2)	✓ 5"	✓ 4"	✓	✓ 7"	✓ 2"	✓ 2"

Observations supplémentaires :

Aucun utilisateur, excepté le sujet n°5, n'interagit avec le site web afin d'observer des informations complémentaires à celles déjà présentes pour vérifier les informations liées à la couleur.

De loin (environ 1 mètre de distance avec l'écran), que ce soit avec ou sans filtre de correction de couleurs, le sujet n°1 ne semble pas distinguer les couleurs, ce qu'il confirme lui-même. "Les barres sont trop étroites et les couleurs trop similaires". De près, il n'y a pas de problème. Concernant le prototype 2, le même participant semble percevoir la différence dans tous les cas.

Le sujet n°3, ne perçoit aucune différence de couleurs qui lui permettrait de dire si un match est gagné ou non concernant le site 9.15, sans correction de couleurs. Le même résultat est convenu avec le prototype 1. Par contre, le prototype 2 lui permet très rapidement d'observer le casque possédant la meilleure isolation sonore. De même, avec l'aide du filtre de couleurs, le participant n°3 perçoit la différence sur le site, mais uniquement lorsque la configuration de Color Enhancer est orientée vers la droite.

Le sujet n°4, de loin, ne perçoit pas bien les couleurs. De près, il est capable de les distinguer mais n'associe pas facilement les couleurs avec du rouge, du vert ou du gris sans légende. Les informations observées ne sont pas les bonnes.

2) Liste

Les informations sont disposées sous forme de liste et une caractéristique permet de différencier certaines valeurs par rapport aux autres.

Liste de valeurs financières (Google finances) : Combien y a-t-il de valeurs négatives sur la figure 9.16 ?

Interfaces 9.27 & 9.28 (2^e page - Question (f)) : Combien de points forts et de points faibles possède le casque ?

Tableau 9.9 – Résultats des tests du cas n°2

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 (site)	✓ 5"	✓ 8"	✓ 11"	✓ 10"	✓ 10"	✓ 9"
4 (Color Enhancer)	/	✓ 4"	✓ 8"	✓ 7"	✓ 3"	✓ 2"
2 (prototype 1)	✗ 3"	!! 13"	!!! 76"	✗ 40"	✓ 9"	! 11"
3 (prototype 2)	✓ 3"	✓ 4"	✓ 23"	✓ 3"	✓ 4"	✓ 4"

Observations supplémentaires :

Concernant les points forts et points faibles du prototype 1, le sujet 0 compte les lignes sans “points” comme des points forts ou faibles. La réponse est donc mauvaise. Pourtant, il compte le bon nombre pour les autres listes.

La plupart des participants daltoniens ne semblent pas remarquer de manière flagrante les valeurs négatives de la liste du site web de la figure 9.16. Certains, particulièrement les sujets 4 et 5, disent distinguer les valeurs par le “-” et le “+”, ce qui implique qu’ils obtiennent l’information, mais moins rapidement.

Le sujet 1, 2 et 5 parviennent à percevoir une différence de couleurs en ce qui concerne la liste des points forts et points faibles pour l’interface 1, mais difficilement. Ceux-ci vérifient la réponse, par déduction, en lisant attentivement le texte associé pour savoir s’il s’agit d’un aspect positif ou négatif. En ce qui concerne la liste des valeurs financières, le même phénomène est observé, mais la vérification est plus immédiate (puisque’un seul symbole permet de vérifier l’information). En revanche, le sujet 1 fait remarquer que : “ça se voit directement parce que il y a des icônes à côté” concernant le prototype 2 par rapport au prototype 1. Les sujets 2, 4 et 5 font la même constatation.

Le sujet 3 hésite concernant la liste des points forts et points faibles du prototype 1. Celui-ci ne parvient pas à les distinguer nettement. Il déclare percevoir de manière assez floue 2 couleurs, mais ne saurait pas associer l’une à un point fort (vert) et l’autre à un point faible (rouge). Les couleurs ne ressortent pas assez selon lui et n’ont donc pas d’information supplémentaire à offrir.

3) Liens visités

La différence entre des liens déjà visités et les autres est caractérisée par la couleur.

Liens google : Sur la figure 9.17, y a-t-il des liens déjà visités ? Combien/lesquels ?

Interfaces 9.33 & 9.34 (5^e page - Question (a)) : Quel(s) lien(s) a(ont) déjà été visité(s) ?

Tableau 9.10 – Résultats des tests du cas n°3

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 (site)	✓ 2"	✗	✗	✗	!!!	✗
4 (Color Enhancer)	/	!!	✗	✗	✗	✗
2 (prototype 1)	✓ 3"	✗ 6"	✗ 15"	✗	✗ 8"	!!! 12"
3 (prototype 2)	✓ 2"	✓ 5"	✗ 13"	✗ 43"	✓ 2"	!!

Observations supplémentaires :

Le sujet n°1 ne perçoit pas de différence de couleurs pour les liens visités, et certifie même rapidement son choix concernant le prototype 1 et les liens sur google sans correction de couleurs. Le prototype 2 lui permet, par contre, de discerner ces liens déjà visités. A la première utilisation du logiciel Color Enhancer, le participant ne sait pas distinguer les liens non plus (2^e paramètre vers la gauche). Cependant, lorsque celui-ci place le curseur du logiciel vers la droite, il réussit à différencier le lien déjà visité.

Le sujet n°3 ne voit aucune différence entre les liens visités et les autres sur le prototype 1, les liens sur Google et même lorsque les couleurs sont modifiées avec le logiciel. Cependant, sur le prototype 2, il remarque une très faible différence de couleurs.

D'après le sujet n°4, les liens visités sur Google (avec correction des couleurs) sont au nombre de 3, alors qu'il n'y en a qu'un seul. Sans correction, il hésite très longuement avant d'identifier le lien visité, qu'il dit percevoir faiblement.

Étrangement, seul le sujet n°5 parvient à distinguer le lien déjà visité du prototype 1, mais difficilement. Il déclare qu'il n'aurait pas été possible de le percevoir s'il on ne lui avait pas demandé. Les mêmes observations sont réalisées concernant le prototype 2.

4) Formulaire

Les situations suivantes possèdent des erreurs de validation dans un formulaire à repérer.

Formulaire de contact sur orange.be : Lors du remplissage du formulaire présenté à la figure 9.18, y a-t-il des erreurs à corriger ? Quelles sont-elles ?

Interfaces 9.31 & 9.32 (4^e page - Question (b)) : Le sujet remarque-t-il facilement la/les erreur(s) à la validation ? Peut-il la/les corriger ?

Tableau 9.11 – Résultats des tests du cas n°4

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 (site)	✓ 5"	✓ 6"	✗	✓ 10"	✓ 12"	✓
4 (Color Enhancer)	/	✓ 5"	✗	✓ 4"	✓ 6"	✓
2 (prototype 1)	✓ 9"	✓ 5"	✗	✓ 3"	! 9"	✓
3 (prototype 2)	✓ 3"	✓ 5"	✗	✓ 5"	✓ 4"	✓

Observations supplémentaires :

Bien que le temps pour remarquer l'erreur de validation demeure équivalent, le sujet 1 fait remarquer qu'il lui semble plus facile de percevoir l'erreur sur le prototype 2. En revanche, il affirme que la couleur utilisée est tout de même idéale et plus rapide à observer que le texte associé.

Le sujet 2 ne semble pas habitué avec la manipulation des formulaires. Par contre, il observe aisément les couleurs utilisées pour marquer les erreurs du formulaire.

Le participant n°3 exprime, malgré qu'il remarque les erreurs de validation dans le formulaire 9.18, qu'il doit se concentrer pour les repérer. Il ne semble pas les percevoir nettement. D'autre part, le message d'erreur du prototype 2 n'est pas lu par celui-ci. Il ne constate pas d'erreur directement et ne comprend pas aisément ce qui ne fonctionne pas pour valider sa commande.

Le participant n°4 passe du temps, après la première confirmation du formulaire du prototype 1, à chercher l'erreur potentielle. Il ne la trouve qu'en vérifiant les problèmes au-dessus du formulaire. L'usage de la couleur ne paraît pas significatif. Lors du remplissage du formulaire du prototype 2, par contre, il constate directement l'erreur à corriger.

5) Choix de couleur

Le participant a pour tâche de choisir une couleur parmi plusieurs.

Choix de couleurs pour des vêtements : Sur l'interface 9.19, choisissez la couleur vert foncé. Quelles sont les autres couleurs ?

Interfaces 9.31 & 9.32 (4^e page - Question (e)) : Est-il aisé de changer la couleur du casque ?

Tableau 9.12 – Résultats des tests du cas n°5

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 (site)	✓ 5"	✓ 5"	✓ 12"	✓ 10"	✗ 22"	!! 54"
4 (Color Enhancer)	/	✓ 4"	✓ 7"	✓ 9"	✗ 10"	!! 19"
2 (prototype 1)	✓ 2"	✓ 2"	✓ 3"	✓ 3"	✓ 2"	✓ 4"
3 (prototype 2)	✓ 2"	✓ 2"	✓ 2"	✓ 4"	✓ 2"	✓ 3"

Observations supplémentaires :

Aucun utilisateur, excepté le n°5, n'attend un temps suffisant pour percevoir le nom de la couleur à sélectionner sur le site affiché à la figure 9.19. Ce dernier sujet ne sait pas du tout identifier les couleurs, et donc se sert du texte qui lui permet de trouver la couleur adéquate, après une durée assez élevée (avec ou sans l'assistance de Color Enhancer).

Selon le sujet n°2, la différence de contrastes des couleurs est assez forte pour pouvoir distinguer les couleurs. Malgré cela, il prend un peu plus de temps pour être sûr de son choix.

Le sujet n°4 hésite entre 3 couleurs : le brun, le vert clair et l'orange pour choisir du vert foncé. Le vert clair lui semble la couleur la plus probable, ce qui est inexact. Par ailleurs, il perçoit un dégradé de vert à la place d'un dégradé de brun.

6) Carte

Les informations à relever sont permises grâce à l'association des parties d'une carte avec une légende.

Carte du prix de l'immobilier à Paris : Sur la figure 9.20, quelles sont les zones pour lesquelles le prix est le plus élevé ?

Interfaces 9.29 & 9.30 (3^e page - Question (a)) : La province du participant contient-elle des magasins qui possèdent le casque en stock ?

Tableau 9.13 – Résultats des tests du cas n°6

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 (site)	✓ 7"	✓ 8"	!!	!! 16"	✗ 27"	✗
4 (Color Enhancer)	/	✓ 6"	!	! 8"	! 5"	!! 22"
2 (prototype 1)	✓ 7"	✓ 6"	✓	✓ 6"	✓ 4"	✓ 4"
3 (prototype 2)	✓ 4"	✓ 3"	✓	✓ 4"	✓ 2"	✓ 3"

Observations supplémentaires :

Le sujet 1 ne relève pas toutes les zones sur la carte de Paris mais une majorité tout de même, sans correction de couleurs (1^{re} ligne). Avec la correction, le 1^{er} participant est capable de distinguer toutes les zones, mais confond certaines zones colorées avec des éléments réels, qui n'ont pas de correspondance avec la légende.

Le 3^e utilisateur est capable de repérer également la plupart des zones mais hésite plus longuement et ne les donne pas toutes. Il en perçoit moins que le sujet 1. Grâce à l'aide du logiciel Color Enhancer, il perçoit nettement plus de zones, plus rapidement.

Le sujet n°4 fait bien remarquer que les motifs utilisés pour le prototype 2 sont très utiles pour lui afin de distinguer les zones sur la carte. Selon lui, La stratégie est meilleure que les couleurs peu contrastées du prototype 1.

Concernant la carte de Paris, l'utilisateur n°4 ne perçoit pas toutes les zones souhaitées sans correction de couleurs. Avec le logiciel, il est capable de toutes les différencier, mais exprime qu'il a tout de même certaines hésitations.

Pour le sujet n°5, par contre, aucune zone n'est distinguable par sa couleur.

7) Graphique

Les informations à observer sont permises grâce à l'association des parties d'un graphique avec une légende.

Graphique de mesure de l'ozone dans différentes stations de France : Indiquez quelle est la partie du graphique, présenté à la figure 9.22, qui représente la station :

- Dijon Balzac
- Champforgeuil
- Chalon-sur-Saône Sainte Marie
- Dijon Tarnier
- MERA

f. Dijon Pasteur

Interfaces 9.27 & 9.28 (2^e page - Question (a)) : Quel est le casque dont l'utilisation pour les jeux est la mieux cotée (graphique) ?

Tableau 9.14 – Résultats des tests du cas n°8

N° d'expérience	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
1 a (site)	✓	✓ 13"	✗ 8"	! 10"	✗ 14"	✗
4 a (Color Enhancer)	/	✓ 11"	✓	✓	✓ 6"	!
1 b (site)	!! 24"	✓ 8"	✓ 6"	!! 18"	! 9"	✗
4 b (Color Enhancer)	/	✓ 6"	✓ 8"	✓	✓ 11"	!
1 c (site)	✓ 3"	! 21"	!! 37"	!! 33"	✓ 7"	✗
4 c (Color Enhancer)	/	! 16"	✓	✓ 15"	✓ 5"	!
1 d (site)	✓ 2"	✓ 12"	✓ 8"	✗ 18"	! 14"	!! 22"
4 d (Color Enhancer)	/	! 13"	✓ 24"	! 34"	! 7"	!
1 e (site)	✓ 3"	✓ 11"	✗ 18"	✗ 56"	✓ 5"	! 9"
4 e (Color Enhancer)	/	✓ 6"	✓ 6"	✓	✓ 4"	! 5"
1 f (site)	✓ 4"	✓ 15"	!! 94"	✓ 9"	✓ 4"	✗
4 f (Color Enhancer)	/	✓ 13"	✓	! 13"	✓ 4"	!
2 (prototype 1)	✓ 11"	✓ 8"	✓	! 21"	✓ 15"	✗ 11"
3 (prototype 2)	✓ 5"	✓ 3"	✓ 5"	✓ 6"	✓ 4"	✓ 4"

Observations supplémentaires :

Les sujets tentent rarement d'interagir avec les graphiques pour trouver une réponse. S'ils le font, c'est généralement après une période d'utilisation assez longue. Le sujet n°5, en particulier, utilise ce moyen afin d'identifier les différentes parties, alors que sans, il est incapable d'observer une différence (avec ou sans aide de Color Enhancer). Celui-ci pense également à ne cocher qu'une seule partie des graphiques (expérience 1d), permettant de n'observer que ses données. Cette même personne interagit avec le graphique du prototype 2, ce qui lui permet d'avoir un complément d'informations pour accéder à l'information, mais remarque que le contraste des couleurs est déjà suffisant.

Le sujet 0, bien qu'il donne la bonne réponse en second temps, identifie une mauvaise partie du graphique de l'expérience 1b avec une couleur proche en premier lieu, trop rapidement.

Pour le sujet 1, le cas “c” est compliqué, que ce soit avec ou sans la correction de couleurs (correction orientée vers la droite). Au contraire, la correction orientée vers la gauche permet à l'utilisateur de distinguer directement les deux parties problématiques du graphique.

D'après le sujet 3, les parties “graphique b” et “graphique e” sont compliquées et confondues. Il hésite longuement avant de répondre correctement, sans le logiciel de correction de couleurs et sur le prototype 1. Deux couleurs lui sont indiscernables : le bleu et le mauve des graphiques de la 2^e page du prototype 1 (figure 9.27). Par contre, le prototype 2 ne lui pose aucun problème : “les couleurs sont plus nettes”. À l'aide de la correction des couleurs, l'utilisateur peut les discerner s'il configure le filtre vers la droite. Si la configuration est orientée à gauche, l'utilisateur hésite et ne parvient pas à distinguer facilement les 2 couleurs du graphique.

8) Hors catégorie

La première image (pommier) contient des informations à distinguer mais il s'agit d'une image réelle, dont les couleurs, si elles sont modifiées, peuvent être désagréables. La deuxième image (“fond d'écran” d'une page) concerne une simple illustration dont il n'y a aucune information particulière à observer.

Pommier : Y a-t-il des pommes sur la figure 9.21 ? Où sont-elles ? Avec Color Enhancer, la vision des couleurs est-elle agréable / satisfaisante ?

Fond d'écran d'une page : La vision des couleurs de la figure 9.24 est-elle au moins aussi agréable que la figure 9.23 ? Est-ce satisfaisant ?

Prototypes 1 et 2 : La note accordée représente la satisfaction globale concernant l'esthétique des pages web consultées.

Tableau 9.15 – Résultats des tests hors catégorie

Type d'interface	Sujet 0	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Pommier	✓	✗	✗	!!	✗	!
Pommier avec couleurs transformées	✓	✓	✓	✓	✓	!!
Fond d'écran avec couleurs transformées	✗	✗	✗	✗	✓	✗
Prototype 1	!	!	!	!	!	!
Prototype 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Observations supplémentaires :

Le sujet n°1, comme le n°2, ne perçoit que quelques pommes ; les plus grosses au centre de la figure 9.21. Il n'est pas capable d'observer les pommes plus petites sur l'image, sans correction. Avec la correction, les pommes au fond de l'image sont plus aisément discernables (surtout avec la correction orientée à gauche). Par contre, d'après lui, les couleurs ne sont pas satisfaisantes au point de vue esthétique. "Il n'y a aucune couleur qui correspond à des pommes".

L'utilisateur n°3, malgré un degré de daltonisme plus élevé, perçoit plus de fruits dans le pommier que le sujet n°1. Cependant, il le fait en un temps assez long et ne les découvre pas tous, sans transformation de couleurs. Il réalise ce résultat surtout "grâce à la forme des fruits qu'il a l'habitude de reconnaître". À l'aide de l'extension, il est finalement capable d'observer l'ensemble des pommes apparentes, mais uniquement lorsque le filtre est paramétré vers la gauche. De plus, les couleurs de l'image ne lui semblent pas désagréables.

Le sujet n°4 constate lui-même que le logiciel Color Enhancer lui permet de percevoir nettement toutes les pommes, alors qu'il n'en voyait que quelques-unes sans. Il affirme que le logiciel est bien utile dans ce cas-ci.

Pour la majorité des personnes interrogées, l'illustration (fond d'écran) n'est pas belle avec les couleurs transformées par le logiciel Color Enhancer.

Le thème choisi et l'utilisation de la couleur sont jugés globalement meilleurs avec le prototype 2 (expérience n°3). Concernant le prototype 1 (expérience n°2), la différence de contrastes entre le fond et le corps est estimée trop faible. Les couleurs plus claires sont préférées.

